



TESIS - RE142541

**STUDI PEMANFAATAN NITROGEN DIOKSIDA
(NO₂) DARI SATELIT GOME 2 METOP-A UNTUK
PEMBUATAN MODEL NO₂ AMBIEN DAN
PENGGUNAAN LAHAN**

ARKA ROMADONA PUJAARDANA
3314201018

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Eng. Arie Dipareza, ST., MEPM

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - RE142541

UTILIZATION STUDY OF NITROGEN DIOXIDE (NO₂) FROM SATELLITE GOME 2 METOP-A TO MAKING AMBIENT NO₂ MODEL AND LAND USE

ARKA ROMADONA PUJAARDANA
3314201018

SUPERVISOR
Dr. Eng. Arie Dipareza, ST., MEPM

MASTER PROGRAM
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

Arka Romadona Pujaardana

NRP. 3314201018

Tanggal Ujian : 29 Juni 2016

Periode Wisuda : September 2016

Disetujui Oleh :


1. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.E.P.M.

(Pembimbing)

NIP : 198201192005011001


2. Dr. Ir. Irwan Bagyo Santoso, M.T.

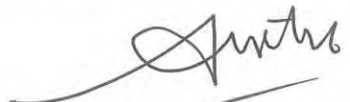
(Penguji)

NIP : 196505081993031001


3. Bieby Voijsant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

(Penguji)

NIP : 197108181997032001


4. Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

(Penguji)

NIP : 198208042005011001

Direktur Program Pascasarjana,




Prof. Ir. Djauhar Manfaat, MSc., PhD

NIP. 196012021987011001

Studi Pemanfaatan Nitrogen Dioksida (NO₂) dari Satelit GOME 2 METOP-A untuk Pembuatan Model NO₂ Ambien dan Penggunaan Lahan

Nama Mahasiswa : Arka Romadona Pujaardana
NRP : 3314201018
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Arie Dipareza, ST., MEPM

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang selalu aktif menggunakan bahan bakar fosil pada setiap kegiatannya, seperti kegiatan Industri, transportasi, dan lain-lain. Kegiatan tersebut sangat berpotensi menghasilkan berbagai macam gas polutan yang berdampak pencemaran udara seperti gas NO₂ (Nitrogen Dioksida). Konsentrasi NO₂ di atmosfer dapat terukur oleh Stasiun Pantau Kualitas Udara (SPKU) yang hanya terdapat di beberapa kota di Indonesia. Perlu dilakukan upaya inventarisasi NO₂ di setiap wilayah di Indonesia. Salah satunya dengan cara melakukan analisa *remote sensing* menggunakan citra satelit. GOME 2 MetOp-A merupakan salah satu satelit yang dapat membaca jejak total kolom NO₂ di troposfer.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisa nilai total kolom NO₂ yang merupakan data olahan dari satelit GOME 2 MetOp-A. Data total kolom NO₂ tersebut dikorelasikan dengan data konsentrasi NO₂ ambien dari SPKU yang masih aktif di kota Surabaya dan Jakarta, kemudian dilakukan uji regresi linier. Data NO₂ dari SPKU maupun dari citra satelit dimanfaatkan dalam analisa pengaruh perubahan iklim di Indonesia terhadap konsentrasi NO₂ ambien maupun nilai total kolom NO₂ dari tahun 2012 hingga 2015. Data dari citra satelit GOME 2 MetOp-A juga dimanfaatkan dalam analisa pengaruh antara perubahan fungsi lahan terbuka hijau (RTH) terhadap peningkatan total kolom NO₂.

Didapatkan nilai determinasi R^2 sebesar 0,3323 dengan persamaan regresi $y = 4.10^{-5}x + 0.0004$. Nilai R^2 tersebut menjelaskan tingkat keakurasian yang cukup lemah yakni sebesar 33,23%. Hal ini dikarenakan senyawa

NO₂ sangat tidak stabil di permukaan. Perubahan musim di Indonesia berpengaruh terhadap konsentrasi NO₂ ambien pada 4 titik SPKU, namun tidak berpengaruh terhadap nilai total kolom dari data citra satelit GOME 2 MetOP-A. Hubungan luas RTH terhadap nilai total kolom NO₂ menunjukkan pola yang menurun. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh antara perubahan fungsi lahan terbuka hijau (RTH) terhadap peningkatan nitrogen dioksida (NO₂) di lapisan troposfer.

Kata kunci : GOME 2 MeOp-A, NO₂, Regresi linier

Utilization Study of Nitrogen Dioxide (NO₂) from Satellite GOME 2 MetOp-A to Making ambient NO₂ Model and Land Use

By : Arka Romadona Pujaardana
Identity Number : 3314201018
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Dr. Eng. Arie Dipareza, ST., MEPM

ABSTRACT

Indonesia is a country that use fossil fuels in every activity, such as industries, transportation, and others. These activities has potential to produce a wide range of gas pollutants that affect air quality such as NO₂ (Nitrogen Dioxide). The concentration of NO₂ in the atmosphere are measured by the Air Quality Monitor Station (SPKU in bahasa) that are only located in several cities in Indonesia. In the other hand, for air quality management and emission control, an inventory of NO₂ in every areas in Indonesia in necessary. One way is by using satellite imagery. GOME 2 MetOp-A is one of the satellites that can read the trace of NO₂ total column in tropospheric.

This study analyzes NO₂ total column of GOME 2 satellite MetOp-A satellite. Total column NO₂ data's are then correlated with NO₂ concentration data from SPKU that are active in Surabaya and Jakarta, using linear regression. NO₂ data from SPKU nor of satellite imagery were also used to investigate the effect of climate change in Indonesia towards ambient NO₂ concentrations and the total value of NO₂ column from 2012 to 2015. Data from satellite imagery GOME 2 MetOp-A is also used to analyze the influence of green space (RTH) changes towards the increase of NO₂ total column.

We obtained value of determination R square (R^2) of 0.3323 with a regression equation $y = 4.10^{-5}x + 0.0004$. The R^2 value explains the fairly weak level of accuracy which is equal to 33.23%. This is because the NO₂ compound is very unstable at the surface. Indonesia seasonal changes affect the ambient NO₂ concentrations at 4 SPKU point, but does not affect the total value of the column of

satellite image data GOME 2 MetOp-A. Greenspace relationship with total value of NO_2 column shows a declining pattern. This shows that the increase of green space with reduce total column nitrogen dioxide (NO_2) in the troposphere.

Keys: GOME 2 MeOp-A, NO_2 , linear regression

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pencemaran Udara	5
2.2 Dispersi Polutan	6
2.2.1 Radiasi Cahaya Matahari	6
2.2.2 Suhu Udara dan Stabilitas Atmosfer	7
2.2.3 Distribusi Angin	7
2.2.4 Kelembaban Udara	8
2.2.5 Presipitasi (curah hujan)	9
2.2.6 Topografi	10
2.2 Nitrogen Dioksida (NO ₂)	10
2.2.1 Karakteristik NO ₂	10
2.2.2 Sumber dan Distribusi NO ₂	11
2.2.3 Siklus NO ₂ di Atmosfer	13
2.2.4 Dampak Pencemaran NO ₂	15
2.2.5 Reduksi NO ₂ Menggunakan Tanaman	16
2.3 Satellite GOME 2 MetOp-A	17

2.4 Aplikasi ArcGIS	18
2.5 Data Stasiun Pantau	20
2.6 Regresi Linier	20
2.7 Uji Anova Satu Arah	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1 Kerangka Penelitian	25
3.2 Dasar Penentuan Wilayah Studi	27
3.3 Tahapan Studi	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data dari Stasiun Pantau	31
4.2 Data dari Sattelite GOME 2 MetOP-A	35
4.3 Analisa Data dengan Model Regresi Linier dan Validasi	39
4.4 Analisa Pengaruh Musim di Indonesia terhadap Pola Peningkatan NO ₂ di Area Stasiun Pantau	48
4.5 Analisa Peningkatan Nilai Total Kolom NO ₂ Terhadap Penurunan Luas Area Ruang Terbuka Hijau (RTH) Setiap Tahunnya	57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN A	69
LAMPIRAN B	85

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Koordinat lokasi SPKU	31
Tabel 4.2 Rekapitulasi Data SPKU (dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	32
Tabel 4.3 Rekapitulasi Data SPKU (dalam satuan ppm)	34
Tabel 4.4 Rekapitulasi Data Satelit GOME 2 MetOP-A	38
Tabel 4.5 Informasi Jumlah Data Konsentrasi NO_2 berdasarkan Area Pixel	39
Tabel 4.6 Rekapitulasi Data dari SPKU dan Satelit GOME 2 MetOP-A berdasarkan pixel	40
Tabel 4.7 Koordinat lokasi Titik Sampling di kota Tuban dan Probolinggo	42
Tabel 4.8 Rekapitulasi data konsentrasi dan nilai total kolom NO_2 di kota Tuban dan kota Probolinggo	43
Tabel 4.9 Hasil Rekapitulasi nilai R Square Tiap Pixel	46
Tabel 4.10 Data yang disisihkan	46
Tabel 4.11 Hasil Validasi	47
Tabel 4.12 Rekapitulasi Data Curah Hujan Kota Jakarta	48
Tabel 4.13 Rekapitulasi Data Curah Hujan Kota Surabaya	49
Tabel 4.14 Rekapitulasi data konsentrasi NO_2 berdasarkan musim di SUF 6	50
Tabel 4.15 Hasil uji anova konsentrasi NO_2 di SUF 6 berdasarkan perubahan musim di Indonesia	51
Tabel 4.16 Rekapitulasi hasil uji anova konsentrasi NO_2 di setiap stasiun pantau	52
Tabel 4.17 Rekapitulasi rata-rata nilai konsentrasi NO_2 pada setiap musim di Indonesia	53
Tabel 4.18 Rekapitulasi data total kolom NO_2 berdasarkan perubahan musim di pixel E	55
Tabel 4.19 Hasil uji anova nilai total kolom NO_2 di pixel E berdasarkan perubahan musim di Indonesia	55

Tabel 4.20 Rekapitulasi hasil uji anova nilai total kolom NO ₂ di setiap pixel	56
Tabel 4.21 Cakupan area pixel	57
Tabel 4.22 Rekapitulasi rasio luas area RTH per pixel	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Nitrogen di Atmosfer	13
Gambar 2.2 Grafik suhu udara berdasarkan ketinggian di atmosfer	14
Gambar 2.3 Grafik ketinggian lapisan inversi Atmosfer	15
Gambar 2.4 Perbandingan hasil pembacaan NO ₂ dari satelit GOME dan Satelit OMI	18
Gambar 2.5 Tampilan muka aplikasi <i>ArcGIS</i> versi 9.3	19
Gambar 2.6 Contoh gambar grafik regresi	21
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	26
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian	27
Gambar 4.1 Visualisasi Total Kolom NO ₂ di Indonesia melalui citra satelit GOME 2 MetOP-A	36
Gambar 4.2 Lokasi SPKU di Kota Jakarta dan Surabaya	37
Gambar 4.3 Lokasi Titik Pantau di Kota Tuban dan Probolinggo	42
Gambar 4.4 Model Regresi	43
Gambar 4.5 Model Regresi Pixel A	45
Gambar 4.6 Model Regresi Pixel B	45
Gambar 4.7 Pola Konsentrasi NO ₂ (ppm)	50
Gambar 4.8 Pola Nilai Total Kolom NO ₂ (10 ¹⁵ mol/cm ²)	54
Gambar 4.5 Hasil Digitasi RTH pada Pixel A selama September 2012 hingga Oktober 2016	58
Gambar 4.6 Grafik hubungan luas RTH terhadap nilai total kolom NO ₂	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Nitrogen Oksida ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) merupakan salah satu dari polutan udara yang terdapat di atmosfer. Nitrogen Oksida (NO_x) merupakan kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan Nitrogen Dioksida (NO_2). Kedua gas tersebut diketahui sebagai bahan pencemar udara. Nitrogen Monoksida (NO) terdapat di udara dalam jumlah yang lebih besar daripada NO_2 . Meski demikian, NO_2 lebih bersifat toksik empat kali lipat dibanding gas NO. Barman *et al.* (2010) menjelaskan bahwa NO_2 berkontribusi pada masalah hati dan paru-paru serta berpengaruh pada penyebaran kanker. NO_2 merupakan salah satu polutan penting yang menyebabkan hujan asam. Sumber utama Nitrogen Dioksida adalah dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas.

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil emisi terbesar di dunia. Hal ini dapat ditinjau dari jumlah penduduk yang sangat besar. Berbagai macam aktivitas pembakaran bahan bakar fosil juga banyak dilakukan di setiap kota. Aktivitas pembakaran bahan bakar fosil yang berdampak besar menghasilkan gas emisi diantaranya aktivitas industri dan aktivitas transportasi. Dari alasan tersebut sebagai tahap awal pengelolaan, perlu dilakukan inventarisasi gas emisi di Indonesia. Inventarisasi gas emisi dapat dilakukan dengan cara pemantauan sebaran gas emisi di setiap area atau kota di Indonesia. Namun, hanya beberapa kota yang memiliki stasiun pemantauan gas emisi, seperti kota Bandung, Jakarta, Surabaya, Denpasar dan Semarang. Sehingga perlu dilakukan upaya lain untuk mengetahui sebaran gas emisi di setiap wilayah di Indonesia. Salah satunya dengan cara melakukan analisa *remote sensing* gas NO_2 di wilayah Indonesia menggunakan citra satelit. Saat ini, salah satu satelit yang dapat mensimulasikan sebaran gas NO_2 di atmosfer pada permukaan bumi adalah satelit GOME 2 (*Global Ozone Monitoring Experiment 2*).

Menurut Martin *et al* (2004), satelit GOME 2 dapat mengukur trend nilai total kolom NO₂ (10¹⁵ molecule/cm²) pada lapisan troposfer. Data dari satelit GOME 2 diolah oleh KNMI (*Royal Netherlands Meteorological Institute*) sehingga berbentuk pixel warna yang tersebar di permukaan bumi dengan format *grd* dan *hdf*. Kelemahan dari satelit GOME 2 yakni tidak dapat menunjukkan nilai konsentrasi gas NO₂ secara spesifik pada lapisan atmosfer. Perlu suatu metode untuk menganalisa pixel warna dari data satelit GOME 2 hasil olahan KNMI ke dalam suatu bentuk ukuran atau nilai. Metode yang digunakan yakni sistem informasi seperti *GIS* (*Geographic Information System*) yang diaplikasikan dalam suatu perangkat lunak *ArcGIS*.

GIS merupakan suatu sistem informasi berbasis komputer yang dimanfaatkan untuk mengolah dan menyimpan data informasi geografis (Stan, 1989). Pada umumnya, *GIS* digunakan sebagai dasar dalam sistem permodelan yang berhubungan dengan pemetaan atau *geospatial*. Namun, *GIS* juga digunakan untuk mensimulasikan permasalahan terkait lingkungan pada akhir dekade ini (Longley *et al*, 2001). Perangkat lunak untuk mengolah data *GIS* salah satunya menggunakan aplikasi *ArcGIS*.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan korelasi antara nilai total kolom gas NO₂ berupa pixel warna dari data satelit GOME 2 yang dianalisa menggunakan aplikasi *ArcGIS* dibandingkan dengan nilai konsentrasi gas NO₂ di stasiun pantau (SPKU) menggunakan model regresi linear. Harapan dari penelitian ini adalah didapatkan nilai korelasi yang tinggi, sehingga persamaan regresi linier dapat digunakan untuk menganalisa konsentrasi gas NO₂ di seluruh area di Indonesia (yang tidak memiliki stasiun pantau) menggunakan data satelit observasi GOME 2 MetOP-A (hasil olahan KNMI) secara akurat.

Dalam penelitian ini juga dilakukan analisa pengaruh perubahan musim di Indonesia terhadap peningkatan konsentrasi NO₂ maupun nilai total kolom NO₂. Analisa tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan musim di Indonesia terhadap pengukuran NO₂ di lapisan troposfer bawah (dari SPKU) dan lapisan troposfer atas (dari citra satelit), karena pada dasarnya NO₂ sangat cepat bereaksi pada suhu tertentu. Selain itu, dilakukan analisa pengaruh luasan area RTH

terhadap peningkatan nilai total kolom NO₂. Nitrogen Dioksida (NO₂) dapat diserap oleh tanaman dalam proses nitrifikasi.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Tahap awal dari pengelolaan emisi NO₂ ambien adalah dengan cara inventarisasi konsentrasi NO₂ di seluruh wilayah Indonesia. Namun stasiun pantau kualitas udara ambien hanya tersedia di beberapa kota. Salah satu metode untuk mengetahui pola sebaran NO₂ di seluruh kawasan Indonesia melalui analisa data remote sensing dari citra satelit GOME 2 MetOP-A (hasil olahan KNMI). Sedangkan data dari satelit GOME 2 MetOP-A tidak bisa menunjukkan nilai konsentrasi NO₂. Untuk itu, permasalahan yang diangkat dalam penelitian diataranya adalah:

1. Bagaimana menentukan hubungan korelasi antara nilai konsentrasi NO₂ di area stasiun pantau dengan nilai total kolom NO₂ dari citra satelit GOME 2 MetOP-A yang dianalisa menggunakan aplikasi *ArcGIS*.
2. Apakah terdapat pengaruh musim di Indonesia terhadap peningkatan pola konsentrasi NO₂ ambien dari data SPKU.
3. Apakah terdapat pengaruh musim di Indonesia terhadap peningkatan pola total kolom NO₂ dari data citra satelit GOME 2 MetOP-A.
4. Apakah terdapat pengaruh antara perubahan fungsi lahan terbuka hijau (RTH) terhadap peningkatan total kolom NO₂.

1.3 TUJUAN

Dari rumusan masalah, dapat diketahui tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan hubungan korelasi antara nilai konsentrasi NO₂ di area stasiun pantau dengan nilai total kolom NO₂ dari citra satelit GOME 2 MetOP-A yang dianalisa menggunakan aplikasi *ArcGIS*.
2. Menentukan pengaruh musim di Indonesia terhadap peningkatan pola konsentrasi NO₂ ambien dari data SPKU.
3. Menentukan pengaruh musim di Indonesia terhadap peningkatan pola total kolom NO₂ dari data citra satelit GOME MetOP-A.

4. Menentukan pengaruh antara perubahan fungsi lahan terbuka hijau (RTH) terhadap peningkatan total kolom NO₂.

1.4 RUANG LINGKUP

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian yaitu di stasiun pemantauan emisi (SPKU) yang berada kota Jakarta dan Surabaya.
2. Parameter pencemar udara yang digunakan adalah nitrogen dioksida (NO₂).
3. Analisa total kolom NO₂ dari data satelit GOME2 MetOP-A dari KNMI menggunakan aplikasi *ArcGIS versi 9.3*.
4. Data sekunder diambil dari satelit observasi *Global Ozone Monitoring Experiment 2* (GOME2) MetOp-A pada situs <http://www.temis.nl> (merupakan data olahan dari KNMI) yang berbentuk *grid format* dan merupakan data bulanan selama 4 tahun terakhir. Dan juga data nilai konsentrasi dari beberapa stasiun pantau yang tersebar di 2 kota (Jakarta dan Surabaya) selama 4 tahun terakhir. Sehingga data yang diperlukan minimal sebanyak 96 data.

1.5 MANFAAT

Penelitian ini diharapkan dapat menganalisa konsentrasi gas NO₂ di seluruh area di Indonesia (yang tidak memiliki stasiun pantau) menggunakan data satelit observasi GOME 2 MetOP-A (hasil olahan KNMI) secara akurat. Sehingga nantinya akan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menentukan nilai konsentrasi NO₂ di suatu area yang tidak terdapat stasiun pantau dengan mudah dan tanpa analisa laboratorium.
2. Membantu proses inventarisasi emisi khususnya gas NO₂ di seluruh area di Indonesia.
3. Membantu proses penelitian selanjutnya untuk mengetahui satelit manakah yang lebih efektif dalam membaca konsentrasi gas NO₂ pada lapisan troposfer di permukaan bumi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Polusi udara merupakan masalah yang terjadi secara terus menerus di daerah perkotaan di seluruh dunia sejak abad pertengahan. Perkembangan aktivitas Industri dengan regulasi yang terbatas setelah revolusi industri telah memperburuk kualitas udara (Stern, 1973). Saat ini, pencemaran udara di kota besar menjadi suatu topik yang biasa di media. Akhir-akhir ini, *World Health Organization* (WHO) menyatakan bahwa polusi udara merupakan suatu penyebab besar terjadinya permasalahan kesehatan lingkungan yang berdampak 7 juta kematian per tahun di seluruh dunia (WHO, 2014). Saat ini, sumber antropogenik utama pencemaran udara adalah lalu lintas, pembangkit listrik, dan Industri (Beijk et al., 2010). Polusi udara dari aktivitas lalu lintas tidak hanya diakibatkan dari aktivitas bahan bakar, namun juga dapat terjadi akibat penggunaan rem, serta gesekan ban dengan permukaan jalan. Emisi tersebut terdiri dari berbagai partikel seperti karbon dioksida, nitrogen oksida, partikulat matter (PM) dan jelaga. Fischer et al (2000) menyatakan bahwa NO₂ sering diambil sebagai indikator yang mewakili dari campuran partikel tersebut.

Pencemaran udara telah menjadi permasalahan di lingkup daerah hingga lingkup dunia. Pada skala daerah, pencemaran udara telah dihubungkan pada tingkat kematian dan gangguan pernafasan seperti asma (Lee et al., 2007). Dalam skala dunia, pencemaran udara berperan penting dalam pengurangan lapisan ozon, pemanasan global, dan perubahan iklim (Ramanathan & Feng., 2009). Terdapat tujuh material dari polutan udara yang dapat mengganggu kesehatan manusia, diantaranya *sulfur dioxide*, *carbon monoxide*, *particulate*, *hydrocarbons*, *nitrogen oxide*, oksidasi fotokimia, dan logam berat (Cunningham, 2010)

2.2 Dispersi Polutan

Menurut Supriyadi, E (2009), ketika polutan diemisikan ke dalam udara, atmosfer berperan dalam perpindahan, difusi, reaksi kimia dan pengangkutan polutan tersebut. Empat proses di atmosfer tersebut selanjutnya disebut dispersi. Proses dispersi polutan di atmosfer dipengaruhi oleh kondisi fisik meteorologi setempat seperti Radiasi Cahaya Matahari, suhu dan stabilitas atmosfer, distribusi angin, kelembaban udara serta dipengaruhi oleh gejala cuaca seperti presipitasi. Sedangkan bila proses pendispersian polutan tersebut telah mengalami interaksi dengan objek di bumi atau permukaan bumi maka topografi memainkan peranan hal yang penting dalam proses pendispersian polutan. Topografi wilayah setempat akan mempengaruhi keadaan kondisi meteorologi tersebut, yang selanjutnya mempengaruhi pola pendispersian polutan yang terjadi.

2.2.1 Radiasi Cahaya Matahari

Radiasi matahari yang sampai di atmosfer maupun yang tiba di permukaan bumi merupakan energy utama dalam siklus cuaca termasuk persebaran polutan di atmosfer. Salah satunya reaksi kimia atmosfer yang melibatkan bagian molekul dengan jumlah elektron ganjil atau radikal (Visconti, 2001). Radikal ini terbentuk melalui sederatan reaksi yang disebut sebagai proses fotodissosiasi, yaitu ketika molekul pecah karena absorpsi ultraviolet radiasi matahari. Proses fotodissosiasi yang terjadi membutuhkan panjang gelombang radiasi matahari yang berbeda satu dengan lainnya dalam setiap reaksinya. Keseluruhan proses tersebut menghasilkan bentuk hidroksil radikal (OH), yang secara kimia merupakan keluarga hidrogen ganjil (*odd hydrogen family*).

Pengaruh lainnya dari radiasi surya secara fisik dan dinamik dalam penyebaran polusi udara adalah sebagai sumber energy perpindahan massa udara. Hal ini disebabkan perbedaan pemanasan di permukaan bumi maupun di perairan yang menimbulkan angin dan turbulensi, sehingga mempengaruhi kondisi stabilitas atmosfer dan pencampuran polutan dengan lingkungan sekitar.

2.2.2 Suhu Udara dan Stabilitas Atmosfer

Suhu mencerminkan energi kinetik rata-rata dari gerakan molekul-molekul sedangkan panas adalah salah satu bentuk energi yang dikandung oleh suatu benda (Handoko, 1993). Pada lapisan troposfer, laju suhu udara turun terhadap ketinggian (*lapse rate*). Namun pada waktu tertentu di lapisan permukaan (*surface layer*) laju suhu udara naik terhadap ketinggian (*inversi*). Hal ini dapat mempengaruhi efek stabilitas atmosfer yang berperan dalam pendispersian polutan secara vertikal.

Pada suhu parcel udara yang lebih rendah dari lingkungan (kondisi stabil), massa udara polutan tidak dapat naik tapi tetap berada di atmosfer dan terakumulasi, sehingga menaikkan konsentrasi polutan. Sebaliknya bila suhu parcel udara lebih tinggi dari pada suhu lingkungan (kondisi tidak stabil), maka massa udara polutan naik dan menyebar, sehingga tidak membahayakan makhluk hidup dalam jangka pendek.

Selain memiliki pengaruh yang nyata terhadap stabilitas atmosfer dalam pendispersian polutan, suhu udara bersama dengan radiasi matahari dapat mengubah NO_x, HC, dan VOCs menjadi zat polutan sekunder lainnya, seperti ozon dan pembentukan kabut fotokimia di permukaan. Selain itu Connel (2005) menambahkan bahwa campuran dari ozon, PAN dan substansi kimia lainnya menghasilkan kabut fotokimia. Kabut fotokimia merupakan masalah penting di wilayah perkotaan yang memiliki jumlah kendaraan bermotor tinggi dengan paparan radiasi matahari yang kuat. Dampak selanjutnya dari efek kabut fotokimia ini adalah penambahan jumlah partikel udara di perkotaan, sehingga membuat suhu udara diperkotaan jauh lebih tinggi dibandingkan wilayah sekitarnya (Botkin dan Keller, 2005).

2.2.3 Distribusi Angin

Angin memiliki peran utama dalam penyebaran polutan. Partikel polutan ini selanjutnya akan bergerak sesuai arah angin bergerak. Kekuatan angin turut pula mempengaruhi kecepatan penyebaran polutan dari sumbernya. Angin yang kuat mempercepat proses penyebaran polutan sedangkan angin yang bergerak relatif pelan, proses penyebarannya lebih banyak dilakukan melalui proses difusi dengan atmosfer sekitar. Akibat pengaruh dari arah gerak dan kecepatan angin ini konsentrasi polutan pada setiap titik aliran polutan (*plume*) bernilai lebih kecil

dibandingkan sewaktu polutan tersebut keluar dari sumbernya, di luar aliran polutan tersebut konsentrasi polutan dapat diabaikan (Forsdyke, 1970).

Arah dan kecepatan angin turut mempengaruhi dan menciptakan turbulen. Angin yang bergerak di suatu wilayah tidak selamanya bergerak secara teratur. Sehingga dapat dikatakan bahwa semua gerakan udara adalah turbulen (Forsdyke, 1970). Besarnya nilai turbulen ini berbeda setiap keadaan. Turbulen skala kecil ditunjukkan dengan contoh pergolakan asap rokok dalam ruangan, turbulen skala menengah ditunjukkan aliran udara lemah dalam cuaca yang tenang, dan turbulen skala besar ditunjukkan dengan adanya angin dan badai yang muncul secara tiba-tiba. Lemah kuatnya gerakan udara mempengaruhi konsentrasi polutan suatu wilayah.

Pada gerakan angin yang kuat, turbulensi udara yang kuat tercipta dan membantu mencampurkan polutan dengan udara disekitarnya sehingga konsentrasi polutan akan lebih kecil. Sedangkan bila gerakan angin yang tercipta lemah, turbulensi yang tercipta juga lemah sehingga pencampuran polutan dengan udara sekitarnya juga lebih kecil sehingga membuat konsentrasi polutan yang terjadi tetap tinggi. Hal tersebut didukung oleh penelitian Sharan *et al* (1995) yang menyatakan angin dengan kecepatan kurang dari 2 m/s harus diwaspadai bila terjadi di wilayah aktivitas manusia yang cenderung menghasilkan polutan. Ditambah lagi dengan kenyataan penelitian tersebut dilakukan pada wilayah tropis. Sedangkan angin dengan kecepatan sedang hingga tinggi, proses difusi polutan dapat diabaikan dalam perbandingannya terhadap proses adveksi polutan itu sendiri.

2.2.4 Kelembaban Udara

Kelembaban udara (RH) kaitannya terhadap polutan di atmosfer adalah pengaruh jarak pandang (*visibility*). Pola RH harian yang secara umum berlawanan dengan pola suhu harian memiliki pengaruh terhadap konsentrasi polutan di atmosfer. Pada siang hari, suhu udara relatif tinggi dibandingkan malam hari sehingga memiliki kandungan uap air jauh lebih rendah dibandingkan pada saat malam harinya.

Perbedaan kandungan uap air ini selanjutnya yang dapat menjadi bahan tersuspensi bagi partikel-partikel polutan disekitarnya sehingga berpengaruh terhadap jarak pandang (Oke, 1987). Lebih lanjut Hill (2006) menerangkan,

penambahan atau pengurangan kandungan uap air suatu parsel udara dapat membentuk susunan kimia pencemar baru. Sebagai contoh, NO_x pada saat kandungan uap air tinggi dapat membentuk HNO_3 sedangkan pada kandungan uap air rendah membentuk NO_3 . Pencemar lainnya seperti SO_2 , pada saat kandungan uap air tinggi membentuk H_2SO_4 sedangkan pada keadaan kering SO_4 . Baik HNO_3 dan NO_3 serta H_2SO_4 dan SO_4 merupakan aerosol. Sehingga secara tidak langsung perbedaan kandungan uap air dalam parsel udara mempengaruhi jumlah partikel di udara dan berpengaruh pada visibilitas.

2.2.5 Presipitasi (curah hujan)

Presipitasi dapat membantu membersihkan polutan di atmosfer melalui proses pencucian, akumulasi, dan absorbsi (Liu dan Lipták, 2000). Proses pencucian melibatkan partikel-partikel berukuran besar untuk bergabung melalui butiran air hujan yang jatuh sebagai presipitasi. Sedangkan proses akumulasi melibatkan partikel-partikel ukuran kecil bergabung membentuk awan dan jatuh sebagai butiran air hujan. Terakhir, bila polutan tersebut berupa gas maka proses pemindahannya dilakukan secara absorpsi melalui molekul-molekul gas di sekitarnya. Efisiensi ketiga proses di atas tergantung dari sifat polutan itu sendiri dan karakteristik presipitasi (Liu and Lipták, 2000).

Selain proses pencucian dan perpindahan polutan di atmosfer, presipitasi juga memiliki peran penting dalam proses kimia atmosfer, radiasi atmosfer, dan dinamika atmosfer (Seinfeld and Pandis, 2006). Kaitannya dalam kimia atmosfer adalah pembentukan hujan asam, yang banyak dipicu oleh gas SO_2 dan NO_x . Hujan asam seringkali disebut sebagai deposisi asam (Arya, 1999; Hill, 2006). Walaupun dalam kondisi alamnya uap air memiliki ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-), namun sering kali sulit untuk mencapai keadaan demikian di lingkungan atmosfer, hal ini disebabkan pengaruh dari kandungan gas-gas, *liquid*, maupun partikel yang berada di atmosfer. Dampak selanjutnya adalah turunnya pH air yang mengakibatkan kerugian fisik dan material dalam skala luas.

2.2.6 Topografi

Topografi setempat turut mempengaruhi kondisi meteorologi yang selanjutnya mempengaruhi pola disperse polutan. Sebagai contoh perbedaan

temperatur antara daratan dengan lautan menimbulkan sirkulasi angin lokal (daratlaut) dan lapisan batas internal termal. Bila polutan dilepaskan dekat daerah pantai, akumulasi konsentrasi pencemar cenderung tinggi pada daerah tersebut dan menurun ketika menuju daratan (Jin and Raman, 1995). Sementara itu bila topografinya berupa daerah cekungan maka konsentrasi polutan akan terakumulasi akibat pola angin yang terbentuk di daerah tersebut. Seperti penelitian Sumaryati (2007) di cekungan Bandung yang mendapatkan bahwa pencemar yang berasal dari daerah cekungan Bandung cenderung terdispersi dalam daerah cekungan saja dan sulit untuk bias terdispersi keluar dari cekungan Bandung, akibat pengaruh pola angin dan *mixing height* setempat.

2.3 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Nitrogen dioksida merupakan polutan udara yang dihasilkan pada proses pembakaran. Ketika Nitrogen Dioksida (NO₂) terbentuk, unsur Nitrogen Oksida (NO) juga ditemukan, gabungan dari NO dan NO₂ secara kolektif mengacu kepada nitrogen oksida (NO_x).

2.3.1 Karakteristik NO₂

Nitrogen dioksida (NO₂) adalah gas anorganik, yang berwarna coklat kemerahan dan memiliki bau yang tajam. NO₂ terbentuk dari oksidasi gas Nitrogen Oksida (NO), yang terpancar dari hasil pembakaran bahan bakar pada temperatur tinggi. Dibawah temperatur 21, 15°C, nitrogen dioksida menjadi cairan berwarna coklat dan pada temperatur -11°C, menjadi padatan tidak berwarna (Alberta, 2007). Nitrogen dioksida bersifat korosif, kemampuan oksidasi yang tinggi dan tidak mudah terbakar.

Menurut Hertel O., *et al.* (2011), NO_x memegang peranan penting dalam membentuk Nitrogen Monoksida (NO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂). Sumber penghasil NO_x adalah proses pembakaran bahan bakar fosil seperti aktivitas transportasi dan lain-lain. Namun pada batas lapisan troposfer, distribusi antara NO dan NO₂ ditentukan oleh O₃ yang bereaksi dengan NO untuk membentuk NO₂. Nitrogen Dioksida (NO₂) cepat menyerap radiasi sinar matahari terutama pada

gelombang tampak sinar kuning hingga biru dan ultraviolet dekat matahari. Dalam cahaya matahari, NO₂ terpecah (dalam panjang gelombang 200-240 nm) untuk membentuk NO dan atom oksigen yang memiliki waktu paruh sangat pendek (radikal O(³P)). Atom Oksigen (O(³P)) merupakan gas yang sangat reaktif yang dapat membentuk ozon bersamaan dengan oksigen dan prekursor sejumlah reaksi beranatai fotokimia kedua.



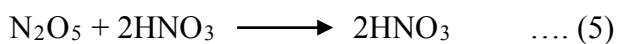
Reaksi NO₂ yang terbentuk dari gas NO dan O₂ terjadi dalam jumlah relatif kecil, meskipun dengan adanya udara berlebih. Hal ini berbeda dengan reaksi pembentukan CO₂ dari CO dan O₂, dimana kelebihan udara akan mengakibatkan pembentukan CO₂ secara cepat. Pembentukan NO₂ yang lambat ini disebabkan kecepatan reaksi sangat dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi NO. Reaksi pembentukan NO₂ berlangsung lebih lambat pada suhu yang lebih tinggi. Pada suhu 1100°C jumlah NO₂ yang terbentuk biasanya kurang dari 0,5% dari total NO_x. Kecepatan reaksi pembentukan NO₂ dipengaruhi oleh konsentrasi oksigen dan kuadrat dari konsentrasi NO. Hal ini berarti jika konsentrasi NO bertambah menjadi dua kalinya maka kecepatan reaksi akan naik menjadi empat kalinya, dan jika konsentrasi NO berkurang menjadi setengahnya. NO yang dikeluarkan ke udara luar bersama-sama dengan gas buangan lainnya akan mengalami pendinginan secara cepat dan terencerkan sebanyak 100 kalinya (Seinfeld, 1986).

2.3.2 Sumber dan Distribusi NO₂

Konsentrasi NO_x di udara di daerah perkotaan biasanya 10-100 kali lebih tinggi daripada di udara daerah pedesaan. Konsentrasi NO_x di udara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm (500 ppb). Seperti halnya CO, emisi nitrogen oksida dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO_x yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran yang disebabkan oleh kendaraan bermotor, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO_x yang dibuat manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas alam dan bensin.

Kadar NO_x di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor. Perubahan kadar NO_x berlangsung sebagai berikut (Depkes, 2008) :

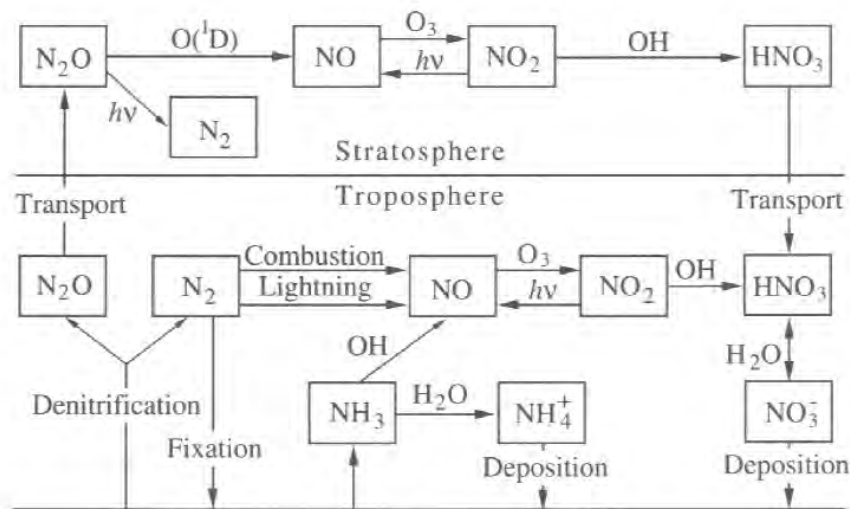
1. Sebelum matahari terbit, kadar NO dan NO_2 tetap stabil dengan kadar sedikit lebih tinggi dari kadar minimum sehari-hari.
2. Setelah aktifitas manusia meningkat (jam 6-8 pagi) kadar NO meningkat terutama karena meningkatnya aktivitas lalu lintas yaitu kendaraan bermotor. Kadar NO tertinggi pada saat ini dapat mencapai 1-2 ppm.
3. Dengan terbitnya sinar matahari yang memancarkan sinar ultra violet kadar NO_2 (sekunder) kadar NO_2 pada saat ini dapat mencapai 0,5 ppm.
4. Kadar ozon meningkat dengan menurunnya kadar NO sampai 0,1 ppm.
5. Jika intensitas sinar matahari menurun pada sore hari (jam 5-8 malam) kadar NO meningkat kembali.
6. Energi matahari tidak mengubah NO menjadi NO_2 (melalui reaksi hidrokarbon) tetapi O_3 yang terkumpul sepanjang hari akan bereaksi dengan NO. Akibatnya terjadi kenaikan kadar NO_2 dan penurunan kadar O_3 .
7. Produk akhir dari pencemaran NO_x di udara dapat berupa asam nitrat, yang kemudian diendapkan sebagai garam-garam nitrat didalam air hujan atau debu. Mekanisme utama pembentukan asam nitrat dari NO_2 di udara masih terus dipelajari. Salah satu reaksi dibawah ini diduga juga terjadi di udara tetapi peranannya mungkin sangat kecil dalam menentukan jumlah asam nitrat.
8. Kemungkinan lain pembentukan HNO_3 didalam udara tercemar adalah adanya reaksi dengan ozon pada kadar NO_2 maksimum O_3 memegang peranan penting dan kemungkinan terjadi tahapan reaksi sebagai berikut :



Reaksi tersebut diatas masih terus dibuktikan kebenarannya, tetapi yang penting adalah bahwa proses-proses diudara mengakibatkan perubahan NO_x menjadi HNO_3 yang kemudian bereaksi membentuk partikel-partikel.

2.3.3 Siklus NO_2 di Atmosfer

Nitrogen dioksida (NO_2) dan nitrogen oksida (NO) yang biasanya disebut sebagai nitrogen oksida adalah jejak gas dalam atmosfer Bumi, yakni berada di lapisan troposfer dan stratosfer. Mereka memasuki atmosfer sebagai akibat dari kegiatan antropogenik (pembakaran bahan bakar fosil dan pembakaran biomassa) dan proses alami (seperti proses mikrobiologis di tanah, kebakaran hutan dan terbentuknya petir). 95% dari emisi NO_x adalah NO . Selama siang hari, dengan adanya sinar matahari, siklus fotokimia yang melibatkan ozon (O_3) dapat mengkonversi NO menjadi NO_2 , sehingga NO_2 menjadi parameter dari konsentrasi nitrogen oksida (Solomon 1999).

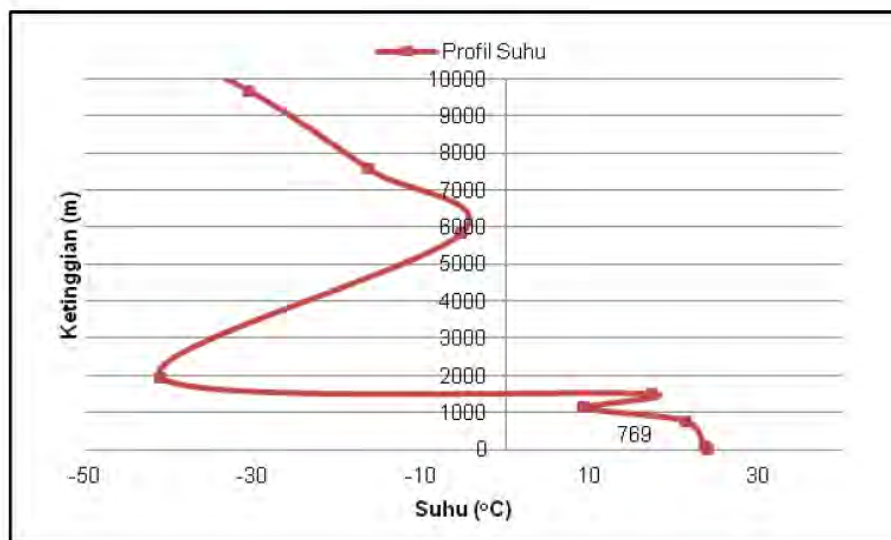


Gambar 2.1 Siklus Nitrogen di Atmosfer (Seinfeld, 1986)

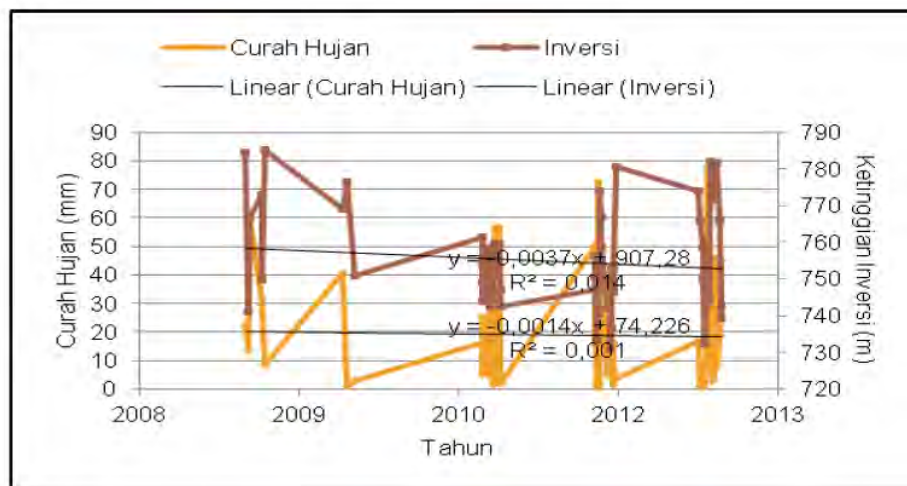
Pada lapisan troposfer (kurang dari 10 km diatas permukaan bumi), reaksi NO_x terjadi sangat cepat yakni kurang dari 1 hari. Menurut penelitian dari Beirle., et al (2011), kecepatan reaksi NO_x terhadap parameter lain di daerah Timur Tengah terjadi sekitar 4 jam. Sementara pada area dengan posisi mendekati ke arah kutub (seperti moskow), kecepatan reaksi NO_x terjadi hingga 8 jam pada musim dingin. Schaub., et al. (2007) menyatakan, di Negara Swiss kecepatan reaksi NO_2 dapat mencapai sekitar 3 jam pada musim panas dan sekitar 13 jam pada musim dingin. Dengan kecepatan reaksi yang sangat singkat, NO_2 relatif lebih dekat dari sumbernya (tetap berada pada area). Sehingga dapat dengan mudah terdeteksi dari luar angkasa melalui citra satelit.

Dalam lapisan stratosfer, NO_2 terlibat dalam beberapa reaksi fotokimia dengan ozon (O_3) sehingga mempengaruhi lapisan ozon (Pandis, 2006). NO_2 di lapisan stratosfer terbentuk dari oksidasi N_2O yang akan menjadi NO_x , dan bertindak sebagai katalis untuk kerusakan ozon (Hendrick et al, 2012). Namun NO_x juga dapat menekan penipisan ozon dengan mengubah senyawa reaktif klorin dan hidrogen menjadi senyawa tidak aktif (seperti ClONO_2 dan HNO_3).

Siklus NO_2 pada atmosfer terbatas hingga ketinggian tertentu. Menurut Sari N. K., et al (2015), dispersi polutan (SO_2 , NO_2 dan O_3) terbatas sampai ketinggian lapisan inversi atau *mixing height*. Pergerakan polutan akan terhenti hingga lapisan tersebut, sehingga terperangkap dan mengendap dipermukaan yang dapat berdampak negatif bagi kehidupan di permukaan. Sari N. K., et al (2015) menerangkan bahwa lapisan inversi ini terletak antara 731 hingga 785 meter di atas permukaan tanah, dimana lapisan udara yang lebih hangat berada di atas lapisan udara yang lebih dingin. Pada ketinggian 1200 hingga 1500 meter di atas permukaan, lapisan ini akan mendispersikan kembali.



Gambar 2.2 Grafik suhu udara berdasarkan ketinggian di atmosfer
(Sari N. K., et al, 2015)



Gambar 2.3 Grafik ketinggian lapisan inversi Atmosfer (Sari N. K., et al, 2015)

2.3.4 Dampak Pencemaran NO₂

Dengan berkembangnya infrastruktur dan Teknologi, daerah di perkotaan semakin terus menambah jumlah dan kapasitas jalan raya. Ditambah lagi dengan tingkat kesibukan masyarakat perkotaan sehingga menjadi saling ketergantungan. Hal ini menyebabkan dampak berkembangnya tingkat emisi di jalan raya dan degradasi lebih lanjut dari kualitas udara di perkotaan. Kegiatan transportasi sangat berkontribusi dalam menghasilkan emisi NO₂. Sehingga NO₂ adalah salah satu polutan berbahaya yang secara signifikan menurunkan kualitas udara perkotaan (Ross et al, 2006). Polutan NO₂ sangat reaktif dan dapat berkombinasi dengan komponen atmosfer lainnya sehingga membentuk asam nitrat (HNO₃) yang berkontribusi menyebabkan hujan asam dan *Particulat Matter* (PM) di atmosfer. NO₂ sangat bersifat korosif terhadap metal dan merupakan jenis emisi utama sebagai penyusun formasi ozon serta salah satu komponen penting dari kandungan asap (Srivastava, 2004).

Hoek, et al (2002) menemukan bahwa ada korelasi antara tingkat kematian dan tingkat konsentrasi NO₂. Dalam studi yang dipaparkan oleh Hoek, et al (2002), juga disebutkan bahwa anak-anak di kota New York yang tinggal pada 200 meter dari jalan raya dengan lalu lintas yang padat, memiliki resiko terkena asma. Selain itu disebutkan bahwa semakin tinggi tingkat NO₂ yang terhirup dalam pernafasan, menyebabkan melambatnya perkembangan organ paru-paru. Anak-anak yang tinggal di daerah udara tercemar mengalami pertumbuhan organ paru-paru lebih

lambat dari pada anak-anak yang tinggal di daerah dengan sedikit polusi udara. Selain itu menurut Alberta (2007), pada kondisi udara ambien dengan kadar NO_2 kurang lebih 2 ppm, dapat menyebabkan gangguan sistem pernafasan pada manusia dan menurunnya jumlah sel darah putih (limfosit) sehingga daya tahan tubuh menurun.

2.3.5 Reduksi NO_2 Menggunakan Tanaman

Nitrogen merupakan nutrisi penting untuk semua organisme hidup. N_2 di atmosfer disediakan untuk fiksasi biologis oleh mikroorganisme prokariot memberikan asam amino dan amonia, yang keduanya dapat diambil oleh tumbuhan tingkat tinggi. Namun, sebagian besar nitrogen diambil oleh vegetasi yang lebih tinggi digunakan dalam proses nitrifikasi yang dilakukan oleh kelompok-kelompok lain mikroorganisme yang mengoksidasi amonia dan memberikan nitrat (NO_3^-) yang diambil oleh akar tanaman. Nitrat juga bisa berkurang menjadi N_2 oleh denitrifikasi mikroba. Selain diambil oleh akar tanaman, Nitrat juga dapat diserap melalui stomata (Chaparro-Suarez et al., 2011). Metabolisme tumbuhan mengkonsumsi NO_2 telah diteliti menggunakan ^{15}N isotope sebagai jejak (Yoneyama et al., 2003).

Pertukaran gas NO_2 antara tanaman dan atmosfer dikendalikan oleh gradien konsentrasi dalam / luar daun, bukaan stomata dan resistensi di dalam daun (Meixner, 1994). Stomata pada daun dipengaruhi oleh faktor iklim seperti cahaya, suhu, dan uap air defisit tekanan. Beberapa studi telah menunjukkan hubungan linear antara serapan NO_2 , konduktansi stomata dan peningkatan konsentrasi NO_2 di atmosfer (Chaparro-Suarez et al, 2011.).

Dalam beberapa penelitian, membahas titik pertukaran NO_2 di atmosfer terhadap area tumbuhan hijau yang disebut "titik kompensasi". Konsentrasi titik kompensasi NO_2 menjelaskan bahwa konsentrasi NO_2 di titik pertukaran adalah nol (sebagai batas antara serapan NO_2 dan emisi NO_2). Ketika konsentrasi NO_2 ambien berada di bawah titik kompensasi, tanaman bertindak sebagai sumber untuk NO_2 . Dan berubah menjadi penyerap NO_2 ketika konsentrasi ambien melebihi titik kompensasi NO_2 . Studi sebelumnya melaporkan konsentrasi titik kompensasi NO_2 antara 0,3-3 ppb tergantung pada jenis pohon (Hereid dan Monson, 2001). Jacob

dan Wofsy (1990) menyatakan pada konsentrasi NO₂ ambien antara 0,2-0,4 ppb diperlukan penyerapan yang kuat oleh tanaman.

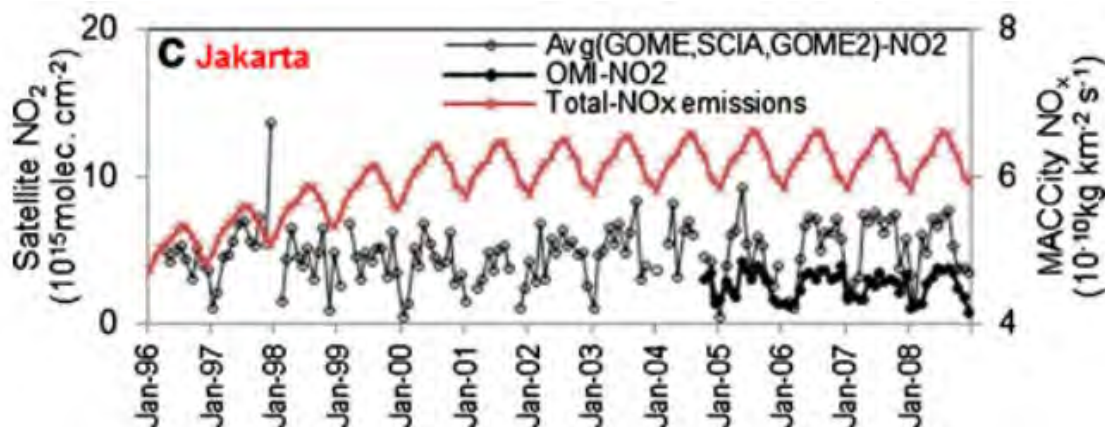
2.4 Satellite GOME 2 MetOp A

GOME 2 (*Global Ozone Monitoring Experiment 2*) merupakan instrumen remote sensing pada satellite ERS 2 (*European Remote Sensing 2*) yang diluncurkan oleh *European Space Agency* pada bulan 19 Oktober 2006. ERS 2 merupakan suatu satellite yang orbitnya berdasarkan gerakan matahari dengan lokasi sekitar 800 kilometer diatas bumi (*European Space Agency*, 1995). GOME 2 terdiri dari dua satelit, yaitu satelit GOME 2 MetOp-A dan GOME 2 MetOp-B. Satelit MetOp-A diluncurkan pada bulan Oktober 2006, sedangkan MetOp-B diluncurkan pada bulan September 2012. Kedua satelit ini dioperasikan oleh EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellite*). MetOp-A terbang pada orbit matahari (*sun-synchronous*) dengan siklus berulang selama 29 hari.

Menurut J Callies., et. al (2000) GOME 2 dirancang untuk mendeteksi pantulan radiasi dari tanah dan tersebar oleh atmosfer yang meliputi panjang gelombang berkisar 240-790 nm (Munro et al., 2006). Proses pembacaan satelit GOME 2 yaitu dengan UV-VIS (*Ultraviolet-Visible*) spektrometer dengan proses *nadir-scanning*. GOME 2 MetOp-A dapat membaca dalam suasana nadir pada satu petak di permukaan bumi sebesar 40 x 40 km². Panjang jarak *scanning* mencakup 1920 km dengan rentang waktu selama 1,5 hari. Jarak scanning sekitar 800 meter dari permukaan. Dan lama scanning (kurang lebih 4 pixel) 4,5 detik. Meskipun sasaran utama GOME adalah ozone, namun jejak gas lain seperti NO₂ juga dapat terukur (Burrows, et al., 1999; J. Ma, et al., 2006).

Data satelit untuk troposfer NO₂ dapat dianalisis dalam empat langkah. Pertama, rata-rata penyerapan NO₂ dikontribusikan kepada sinyal yang ditunjukkan dengan menggunakan metode *Differential Optical Absorption Spectroscopy* (DOAS) dalam wilayah 425-450 nm (Richter and Burrows, 2002; J. Ma, et al., 2006). Langkah kedua, komponen pada stratosfer dihapus dengan menghilangkan kolom NO₂ pada stratosfer yang disimulasikan oleh 3D CTM SLIMCAT (Chipperfield, 1999; J. Ma, et al., 2006) pada saat satelit melayang. Untuk

menghitung perbedaan antara model dan pengukuran, data SLIMCAT diskala dalam bentuk data GOME pada kondisi wilayah stratosfer yang bersih. Langkah ketiga yaitu, mengaplikasikan FRESCO algorithm untuk membuat kondisi wilayah yang bersih dengan menghilangkan komponen stratosfer berupa awan dengan fraksi kurang dari 0,2 (Koelemeijer, et al., 2001; J. Ma, et al., 2006). Langkah terakhir yaitu mengkonversi sisa troposfer ke dalam *vertical column* dengan menerapkan pra-perhitungan *Air Mass Factors* (AMF) menggunakan model transfer radiasi SCIATRAN (Rozanov, et al., 1997; J. Ma, et al., 2006). Pada gambar 2.4, dapat dilihat hasil penelitian dari (Lalitaporn, et al., 2013) tentang pengukuran gas NO₂ di kota Jakarta menggunakan satelit GOME 2 jika dibandingkan dengan satelit OMI.



Gambar 2.4 Perbandingan hasil pembacaan NO₂ dari satelit GOME dan Satelit OMI (Lalitaporn, et al., 2013)

2.5 Aplikasi ArcGIS

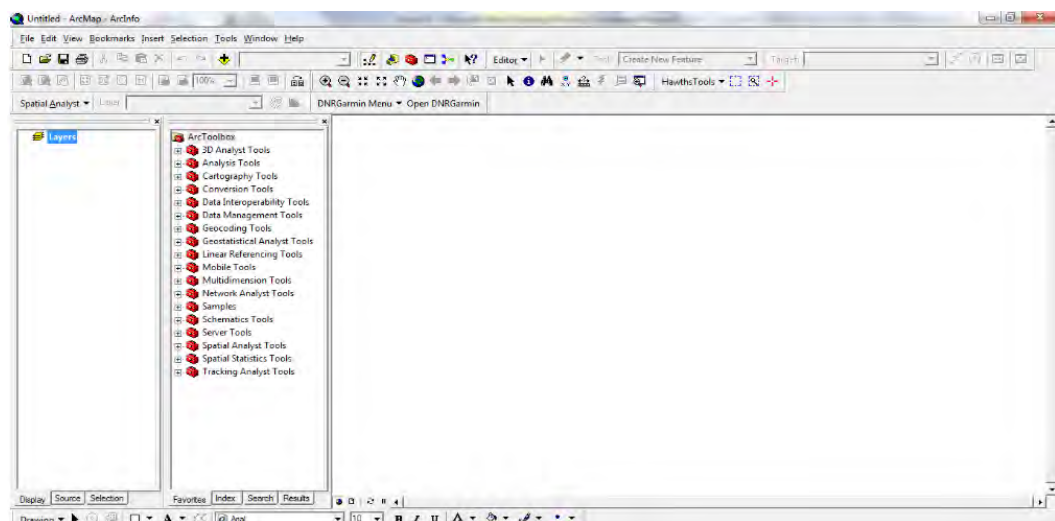
Menurut Hiller (2007), ArcGIS adalah sebuah perangkat lunak yang dibuat oleh *Environmental System Research Institute (ESRI)* untuk mengolah produk dari GIS (*Geographic Information System*). GIS merupakan suatu sistem informasi berbasis komputer yang dimanfaatkan untuk mengolah dan menyimpan data informasi geografis (Stan, 1989). Sebagian besar data yang ditangani dalam GIS merupakan *data spasial* yaitu sebuah data yang berorientasi geografis, memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya dan mempunyai dua bagian penting yang membuatnya berbeda dari data lain, yaitu informasi lokasi (spasial) dan informasi deskriptif (*attribute*) yang dijelaskan sebagai berikut:

- a. Informasi lokasi (*spasial*), berkaitan dengan suatu koordinat geografi (lintang dan bujur) dan koordinat XYZ, termasuk diantaranya informasi datum dan proyeksi.
- b. Informasi deskriptif (*attribute*) atau informasi *non spasial*, suatu lokasi yang memiliki beberapa keterangan yang berkaitan dengannya, contohnya: jenis vegetasi, populasi, luasan, kode pos, dan sebagainya

Aplikasi *ArcGIS* yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu *ArcGIS* versi 9.3. Gambar 2.1 merupakan tampilan menu utama *ArcGIS*.

ArcGIS memiliki 3 aplikasi standar, yaitu *ArcMap*, *ArcCatalog*, *ArcGlobe* dan *ArcToolbox*. *ArcGIS* menyediakan aplikasi yang bisa disesuaikan dengan kemampuan dan kebutuhan penggunaanya.

- *ArcMap* : didesain untuk menampilkan data, editing, analisi spasial dan percetakan peta kualitas tinggi.
- *ArcCatalog* : berfungsi untuk mengakses dan mengatur manajemen data (data spasial dan non spasial) dengan mudah. Pengguna bisa mencari data yang diinginkan, menampilkannya, melihat atau membuat metadatanya. *ArcCatalog* juga bisa mengakses database eksternal (Mx Access, SQL Server, Oracle, dsb).
- *ArcGlobe* : didesain untuk menampilkan data secara 3 Dimensi.
- *ArcToolbox*: berisi tools (alat-alat) untuk berbagai macam geoprocessing serta konversi antar format data.



Gambar 2.5 Tampilan muka aplikasi *ArcGIS* versi 9.3

2.6 Data Stasiun Pantau

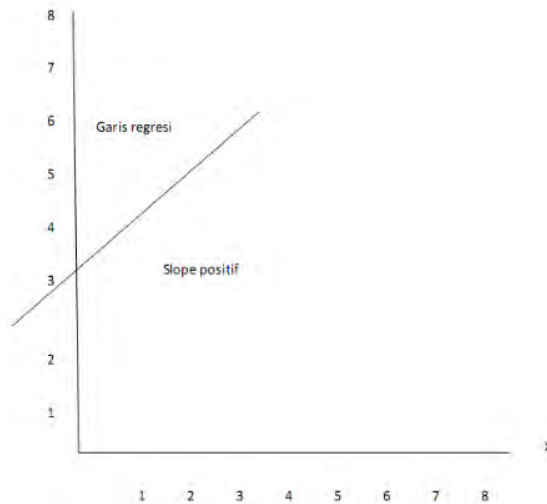
Data NO_2 pada penelitian ini didapatkan dari stasiun pantau yang tersebar di dua kota di Indonesia yaitu kota Jakarta dan Surabaya. Karena kedua kota kemungkinan memiliki karakteristik yang berbeda dalam dispersi polutan ke atmosfer berdasarkan sumbernya, maka pengukuran satelit jangka panjang dilakukan untuk menyelidiki kemampuan instrumen satelit GOME dalam mengamati tren tahunan dan variabilitas musiman polutan tersebut. Data bulanan NO_2 dari instrumen satelit GOME dibandingkan dengan data bulanan dispersi NO_2 di permukaan bumi dari dua stasiun pantau pada periode waktu yang bersamaan. Metode yang diterapkan untuk mengumpulkan NO_2 dari stasiun pantau yaitu *chemiluminescence* yang merupakan penggunaan bahan yang dalam proses reaksi kimianya disertai dengan fenomena radiasi optik (Lalitaporn, et al., 2013).

Pengambilan data NO_2 sangat berhubungan erat dengan dispersi polutan NO_2 . Hal ini dikarenakan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pengukuran NO_2 pada area stasiun pantau. Diantaranya kecepatan dan arah angin, jarak dari sumber ke penerima, dan stabilitas atmosfer (Prueksakon, et. al., 2012).

2.7 Regresi Linier

Regresi adalah analisa ketergantungan satu variabel terhadap satu atau lebih variabel lainnya dengan tujuan untuk membuat estimasi dan atau memprediksi rata-rata populasi (Gujarati dan porter, 2009). Menurut Levin & Rubin (1998), regresi digunakan untuk menentukan sifat-sifat dan kekuatan hubungan antara dua variabel yang belum diketahui dengan didasarkan pada observasi masa lalu terhadap variabel tersebut dan variabel-variabel lainnya. Namun, meskipun analisis regresi saling bergantung antar variabelnya, namun hal tersebut tidak selalu memiliki sebab akibat.

Regresi linier mempunyai persamaan yang disebut sebagai persamaan regresi. Persamaan regresi mengekspresikan hubungan linier antara variabel tergantung/ variabel kriteria yang diberi simbol Y dan salah satu atau lebih variabel bebas / prediktor yang diberi simbol X jika hanya ada 1 prediktor dan X_1, X_2 sampai dengan X_k , jika terdapat lebih dari satu prediktor (Crammer & Howitt, 2006).



Gambar 2.6 Grafik regresi (Crammer & Howitt, 2006)

Jika garis regresi digambarkan, dapat dilihat pada *gambar 2.6*. Persamaan regresi adalah sebagai berikut:

- Persamaan regresi dimana Y merupakan nilai yang diprediksi, maka persamaannya ialah:

$$Y = a + \beta_1 X_1 \text{ (untuk regresi linier sederhana)} \quad \text{.....(6)}$$

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \text{ (untuk regresi linier berganda)} \quad \text{.....(7)}$$

- Untuk persamaan regresi dimana Y merupakan nilai sebenarnya (observasi), maka persamaan menyertakan kesalahan (*error term/ residual*) akan menjadi:

$$Y = a + \beta_1 X_1 + e \text{ (untuk regresi linier sederhana)} \quad \text{.....(8)}$$

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \text{ (untuk regresi linier berganda)} \quad \text{.....(9)}$$

Dimana:

X = merupakan nilai sebenarnya suatu kasus (data)

β = merupakan koefisien regresi jika ada satu prediktor dan koefisien regresi parsial jika terdapat lebih dari satu prediktor. Nilai ini juga mewakili koefisien regresi baku (*standardized*) dan koefisien regresi tidak baku (*unstandardized*). Koefisien regresi ini merupakan jumlah perubahan yang terjadi pada Y yang disebabkan oleh perubahan nilai X . Untuk menghitung perubahan ini dapat dilakukan dengan cara mengkalikan nilai

prediktor sebenarnya (observasi) untuk kasus (data) tertentu dengan koefisien regresi prediktor tersebut.

a = merupakan intercept yang merupakan nilai Y saat nilai prediktor sebesar nol

2.8 Uji Anova satu arah (*One Way Anova*)

Pada penelitian ini menggunakan uji Anova satu arah untuk menganalisa hubungan perubahan musim di Indonesia terhadap konsentrasi maupun nilai total kolom NO_2 . Uji Anova ini merupakan analisa statistik yang bersifat satu arah. Menurut Asriani. D., (2009), uji statistik ini digunakan untuk menguji apakah dua populasi atau lebih yang independen, memiliki rata-rata yang dianggap sama atau tidak sama. Adapun langkah-langkah dalam prosedur *One-Way Anova* adalah sebagai berikut:

a) Tes Homogenitas Varian (*Test of Homogeneity of Variance*)

Asumsi dasar dari analisis ANOVA adalah bahwa seluruh kelompok yang terbentuk harus memiliki variannya sama. Untuk menguji asumsi dasar ini dapat dilihat dari hasil test homogenitas dari varian dengan menggunakan uji *Levene Statistic*. Hipotesis yang digunakan dalam tes homogenitas varian adalah :

H_0 : Diduga bahwa seluruh varian populasi adalah sama

H_a : Diduga bahwa seluruh varian populasi adalah berbeda

Dasar dari pengambilan keputusan adalah:

- Jika probabilitas ($P\text{-value}$) $> 0,05$, maka H_0 diterima
- Jika probabilitas ($P\text{-value}$) $< 0,05$, maka H_0 ditolak

b) Pengujian ANOVA (Uji F)

Uji statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis nol bahwa semua kelompok mempunyai mean populasi yang sama adalah Uji F. Hasil F diperoleh dari rata-rata jumlah kuadrat (*mean square*) antar kelompok yang dibagi dengan rata-rata jumlah kuadrat dalam kelompok. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ANOVA adalah:

H_0 : Diduga bahwa seluruh varian populasi adalah sama

H_a : Diduga bahwa seluruh varian populasi adalah berbeda

Dasar dari pengambilan keputusan adalah:

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel 0,05}$, maka H_0 ditolak
- Jika $F_{hitung} < F_{tabel 0,05}$, maka H_0 diterima

c) Tes *Post Hoc*

Dari pengujian ANOVA (*F test*) telah diketahui bahwa secara umum seluruh kelompok memiliki perbedaan (tidak sama). Untuk mengetahui lebih lanjut perbedaan yang terjadi antar kelompok maka digunakan tes *Post Hoc* dengan menggunakan salah satu fungsi *Tukey*. Adapun hipotesis yang digunakan dalam pengujian ANOVA adalah:

H_0 : Diduga bahwa seluruh varian populasi adalah sama

H_a : Diduga bahwa seluruh varian populasi adalah berbeda

Dasar dari pengambilan keputusan adalah:

- Jika probabilitas (*P-value*) $> 0,05$, maka H_0 diterima
- Jika probabilitas (*P-value*) $< 0,05$, maka H_0 ditolak

d) Uji K Sampel Tidak Berpasangan

Analisis nonparametrik untuk K sampel yang tidak berpasangan sangat berguna untuk menentukan apakah terdapat perbedaan antara dua atau beberapa grup yang diuji. Uji ini bisa dilakukan jika asumsi untuk uji *Analysis of Variance* (ANOVA) tidak terpenuhi. Untuk uji ini bisa menggunakan *Kruskal-Wallis*.

Menurut Kurniawan, D., (2008), untuk memutuskan apakah H_0 ditolak atau diterima, kita membutuhkan suatu kriteria uji. Kriteria uji yang paling sering digunakan akhir-akhir ini adalah *p-value*. *P-value* lebih disukai dibandingkan kriteria uji lain seperti tabel distribusi dan selang kepercayaan. Hal ini disebabkan karena *p-value* memberikan 2 informasi sekaligus, yaitu disamping petunjuk apakah H_0 pantas ditolak, *p-value* juga memberikan informasi mengenai peluang terjadinya kejadian yang disebutkan di dalam H_0 (dengan asumsi H_0 dianggap benar). **Definisi *p-value* adalah tingkat keberartian terkecil sehingga nilai suatu uji statistik yang sedang diamati masih berarti.** Misal, jika *p-value* sebesar 0.021, hal ini berarti bahwa jika H_0 dianggap benar, maka kejadian yang disebutkan di dalam H_0 hanya akan terjadi sebanyak 21 kali dari 1000 kali percobaan yang

sama. Oleh karena sedemikian kecilnya peluang terjadinya kejadian yang disebutkan di dalam H_0 tersebut, maka kita dapat menolak *statement* (pernyataan) yang ada di dalam H_0 . Sebagai gantinya, kita menerima *statement* yang ada di H_a .

P-value dapat pula diartikan sebagai besarnya peluang melakukan kesalahan apabila kita memutuskan untuk menolak H_0 . Pada umumnya, *p-value* dibandingkan dengan suatu taraf nyata α tertentu, biasanya 0.05 atau 5%. Taraf nyata α diartikan sebagai peluang kita melakukan kesalahan untuk menyimpulkan bahwa H_0 salah, padahal sebenarnya *statement* H_0 yang benar. Kesalahan semacam ini biasa dikenal dengan galat/kesalahan jenis I (*type I error*, baca = *type one error*). Misal α yang digunakan adalah 0.05, jika *p-value* sebesar 0.021 (< 0.05), maka kita berani memutuskan menolak H_0 . Hal ini disebabkan karena jika kita memutuskan menolak H_0 (menganggap *statement* H_0 salah), kemungkinan kita melakukan kesalahan masih lebih kecil daripada $\alpha = 0.05$, dimana 0.05 merupakan ambang batas maksimal dimungkinkannya kita salah dalam membuat keputusan.

BAB 3

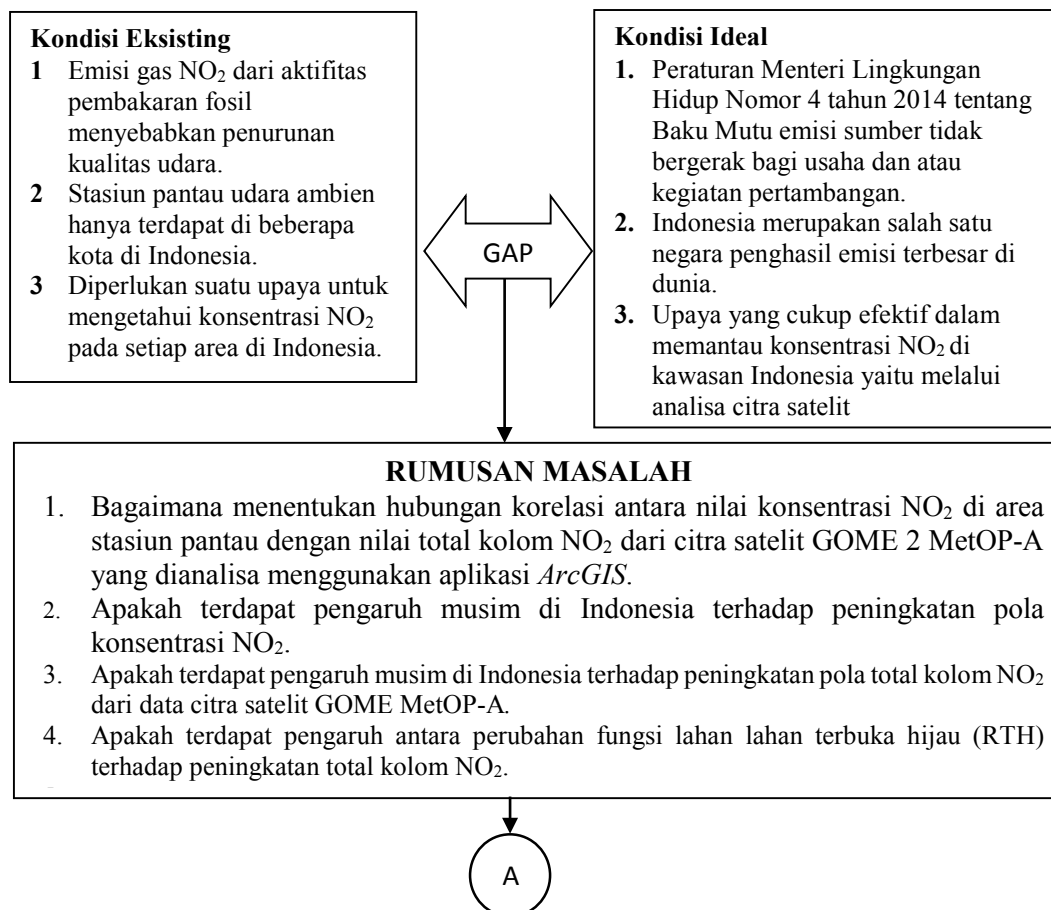
METODE PENELITIAN

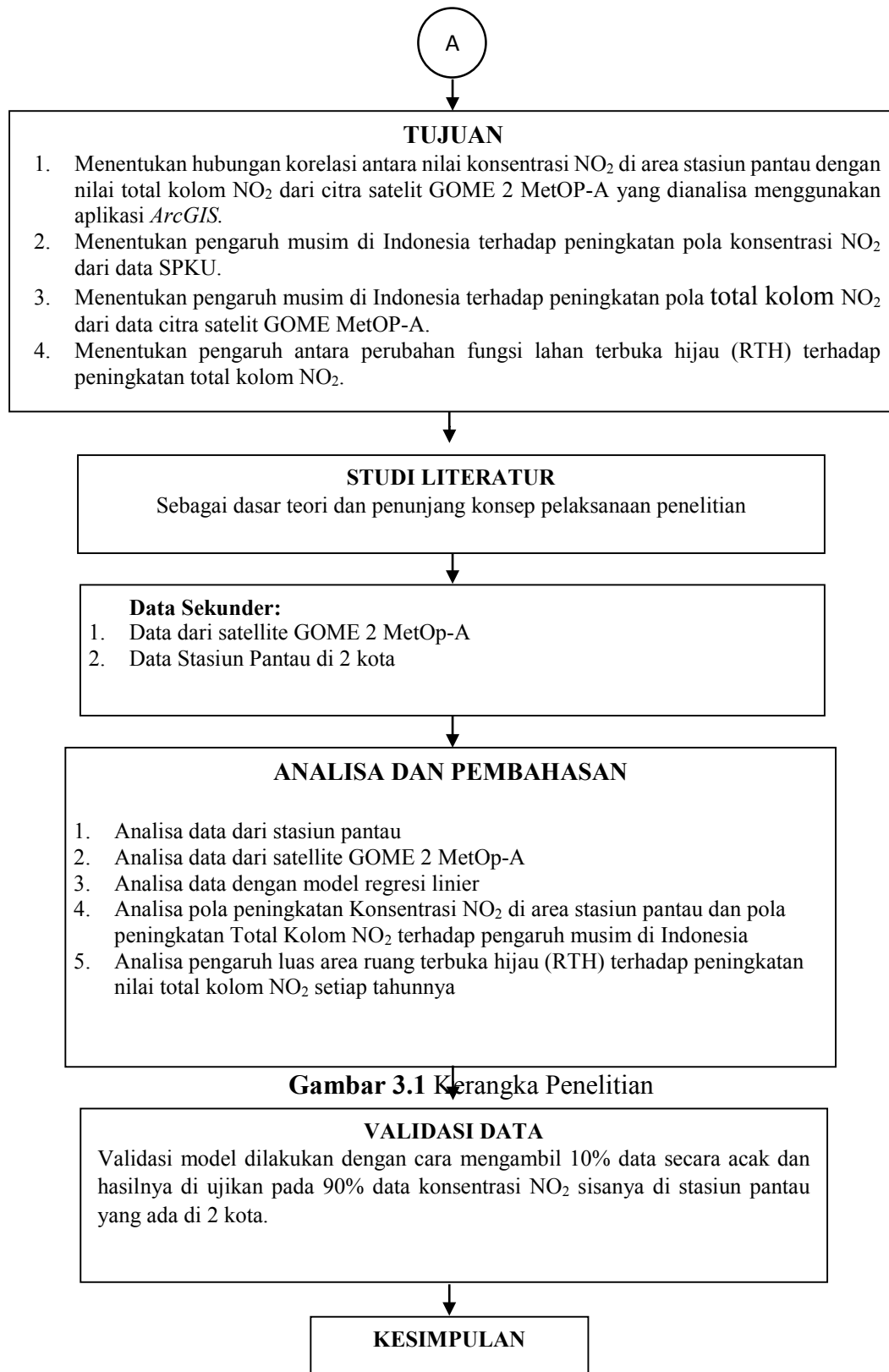
3.1 Kerangka Penelitian

Penyusunan kerangka penelitian bertujuan untuk mengetahui segala sesuatu yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian ini. Kerangka penelitian disusun dengan tujuan:

- Sebagai gambaran awal mengenai tahapan-tahapan penelitian secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi sistematis.
- Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian, dari awal penelitian sampai penulisan laporan thesis.
- Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan melaksanakan penelitian demi tercapainya tujuan penelitian.
- Memperkecil dan menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan selama melakukan penelitian.

Untuk kerangka penelitian tugas akhir ini, dapat dilihat pada Gambar 3.1.





3.2 Dasar Penentuan Wilayah Studi

Penentuan wilayah studi berdasarkan letak stasiun pemantauan kualitas udara ambien yang berada di kota Jakarta, dan Surabaya. Pemilihan 2 kota tersebut berdasarkan stasiun pantau yang masih beroperasi. Terdapat beberapa stasiun pantau di Indonesia, namun hanya sedikit yang masih aktif beroperasi. Selain itu, stasiun pantau dipilih pada dua kota di pulau Jawa agar diharapkan dapat hasil yang relevan. Karena diperkirakan kondisi iklim yang tidak jauh berbeda pada kedua kota tersebut. Gambar 3.2 merupakan lokasi penelitian.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

Keterangan :



Lokasi Stasiun Pantau

3.3 Tahapan Studi

Tahapan kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu :

1. Studi Literatur

Sumber pustaka yang digunakan pada penelitian ini meliputi pencemaran udara, nitrogen dioksida (NO_2), faktor meteorologi arah dan kecepatan angin, Satelit *GOME 2 MetOp-A*, aplikasi *ArcGIS*, dan data stasiun pantau.

2. Analisa data dari stasiun pantau

Stasiun pantau yang ditentukan dalam studi ini berada pada 2 kota yang berbeda, yaitu di kota Jakarta dan Surabaya. Data yang diperlukan merupakan data konsentrasi NO_2 pada setiap periode (dalam periode bulanan) pada 4 tahun terakhir. Dari seluruh stasiun pantau pada dua kota yang berbeda, diambil data pada periode yang sama. Sehingga total data yang diambil dari stasiun pantau minimal 96 data.

3. Analisa data dari satelit *GOME 2 MetOp-A*

Tujuan analisa data dari citra satelit *GOME 2 MetOp-A* adalah untuk mendapatkan nilai intensitas warna dari data total kolom NO₂ di lapisan troposfer. Data dari satelit *GOME 2 MetOp-A* diambil secara online dalam *website of the Tropospheric Emission Monitoring Internet Service project* (<http://www.termis.nl>). Data tersebut merupakan data olahan dari KNMI (*Royal Netherlands Meteorological Institute*). Data hasil olahan KNMI berupa data scanning satelit MetOP-A yang melingkupi hasil scanning seluruh dunia dengan rentang waktu harian atau bulanan. Data dari satelit *GOME 2 MetOP-A* yang digunakan merupakan data nilai pixel atau kolom NO₂ (10¹⁵ mol/cm²). Data yang diambil pada satelit *GOME 2 MetOP-A* ini disesuaikan dengan lokasi dan periode data dari stasiun pantau. Total data yang diunduh sama dengan jumlah data dari stasiun pantau yaitu minimal 96 data.

4. Analisa data dengan model regresi linier

Analisa model regresi dilakukan dengan cara meregresi data konsentrasi NO₂ dari stasiun pantau di 2 kota dengan data total kolom NO₂ dari satelit *GOME 2 MetOP A*. Sehingga dapat diketahui hasil regresi dari grafik dengan persamaan $y=ax+b$ dan nilai R² (R square) dari persamaan tersebut. Nilai R square dapat menunjukkan tingkat akurasi dari persamaan.

5. Validasi data

Validasi data dilakukan dengan cara menyisihkan 10% dari data keseluruhan. Data yang disisihkan tersebut digunakan untuk menguji hasil regresi dari 90% data sisanya. Penyisihan data dilakukan dengan cara random sampling.

6. Analisa pola peningkatan Konsentrasi NO₂ di area stasiun pantau dan pola peningkatan Total Kolom NO₂ terhadap pengaruh musim di Indonesia

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan musim di Indonesia terhadap peningkatan konsentrasi NO₂ di area stasiun pantau. Pada analisa ini ditetapkan musim hujan terjadi selama 6 bulan dengan curah hujan tertinggi berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tiap kota. Hasil dari analisa ini diharapkan dapat mengetahui signifikansi nilai konsentrasi NO₂ dan nilai Total Kolom NO₂ terhadap perubahan musim.

7. Analisa pengaruh perubahan fungsi lahan terbuka hijau (RTH) terhadap peningkatan nilai total kolom NO₂ setiap tahunnya

Analisa ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan fungsi lahan terbuka hijau (RTH) di kota Jakarta dan Surabaya terhadap peningkatan total kolom NO₂ di troposfer. Analisa ini dilakukan dengan cara digitasi area RTH setiap tahunnya dari tahun 2012 hingga 2015. Digitasi dilakukan dengan aplikasi *google earth pro* pada luas area (berupa pixel) hasil scanning satelit GOME 2 MetOp-A dengan luasan $\pm 40 \times 40 \text{ km}^2$.

8. Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan, maka dapat diambil suatu kesimpulan penting mengenai hasil penelitian. Kesimpulan diharapkan mampu menentukan konsentrasi NO₂ di permukaan hanya dengan melihat satelit GOME 2 MetOP-A. Saran-saran untuk metode digunakan untuk penelitian lebih lanjut guna mencapai hasil yang lebih baik di masa mendatang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dari Stasiun Pantau

Stasiun Pantau Kualitas Udara (SPKU) terdapat di 2 kota, yaitu kota Surabaya dan Jakarta. Data yang diambil berupa data konsentrasi NO_2 dengan satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Data tersebut digunakan untuk membandingkan dengan data dari satelit GOME 2 MetOP-A (10^{15} molecule/ cm^2). Kolom NO_2 yang ditangkap oleh satelit merupakan kolom troposfer NO_2 . Data konsentrasi NO_2 dari SPKU yang digunakan adalah data dari tahun 2012 hingga tahun 2015. Pengolahan data dari stasiun pantau dilakukan dengan cara mengkonversi dari data harian menjadi data bulanan.

a. Lokasi Stasiun Pantau

Terdapat 7 stasiun pantau di kota Surabaya. Diantaranya SUF1, SUF 2, SUF3, SUF4, SUF 5, SUF6 dan SUF7. Sedangkan di kota Jakarta terdapat 6 titik SPKU, diantaranya DKI1, DKI2, DKI3, DKI4, DKI5, dan JAF4. Lokasi beserta koordinat setiap titik SPKU di kota Surabaya maupun Jakarta dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Koordinat lokasi SPKU

Kota	Titik Pantau	Nama Lokasi	Koordinat x y	Koordinat
Surabaya	SUF 1	Taman Prestasi	-7.262016, 112.746425	112° 44' 47.130" E dan 7° 15' 43.258" S
	SUF 2	Perak Timur	-7.223738, 112.733968	112° 44' 2.285" E dan 7° 13' 25.457" S
	SUF 3	Sukomanunggal	-7.248917, 112.647734	112° 38' 51.842" E dan 7° 14' 56.101" S
	SUF 4	Gayungan	-7.333790, 112.707853	112° 42' 28.271" E dan 7° 20' 1.644" S
	SUF 5	Gebang Putih	-7.290515, 112.793565	112° 47' 36.834" E dan 7° 17' 25.854" S
	SUF 6	Wonorejo	-7.313076, 112.785212	112° 47' 6.763" E dan 7° 18' 47.074" S
	SUF 7	Kebon sari	-7.327922, 112.713241	112° 42' 47.668" E dan 7° 19' 40.519" S
Jakarta	DKI1	Bunderan HI	-6.1949571, 106.82306	106° 49' 23.016" E dan 6° 11' 41.846" S
	DKI2	Kelapa Gading	-6.1604549, 106.90546	106° 54' 19.660" E dan 6° 9' 37.638" S
	DKI3	Jagakarsa	-6.334917, 106.823737	106° 49' 25.453" E dan 6° 20' 5.701" S

DKI4	Lubang Buaya	-6.2939072, 106.90339	106° 54' 12.233" E dan 6° 17' 38.066" S
DKI5	East Jakarta	-6.2069444, 106.75222	106° 45' 7.999" E dan 6° 12' 25.000" S
JAF4	West Jakarta	-6.1683295, 106.75884	106° 45' 31.856" E dan 6° 10' 5.986" S

b. Rekapitulasi Data NO₂ dari SPKU

Dari tahun 2012 hingga 2015, hanya terdapat 5 stasiun pantau yang dapat membaca konsentrasi NO₂. Diantaranya SUF1, SUF3, SUF4, SUF6 dan SUF7. Stasiun pantau SUF2 dari tahun 2014 tidak dapat membaca konsentrasi gas NO₂. Stasiun pantau SUF5 hanya dapat membaca konsentrasi gas NO₂ selama 3 bulan di awal tahun 2014, sehingga data konsentrasi gas NO₂ dari SUF2 dan SUF5 tidak digunakan dalam analisa.

Di kota Jakarta, data konsentrasi NO₂ di semua titik SPKU hanya ada sampai tahun 2014, terkecuali SPKU di DKI5 dan JAF4. Stasiun pantau DKI 5 mulai melakukan pengukuran pada bulan Januari tahun 2013. Stasiun pantau JAF4 hanya melakukan pengukuran hingga bulan Desember tahun 2012.

Jumlah data dari SPKU di Surabaya maupun Jakarta selama tahun 2012 hingga 2015 adalah sebanyak 225 data. Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ disetiap titik SPKU di kota Surabaya maupun Jakarta dapat dilihat pada Tabel 4.2. Data pada tabel tersebut merupakan data dalam periode bulanan yang telah diolah dari data harian.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Data SPKU (dalam satuan µg/m³)

Periode	Konsentrasi (µg/m ³)									
	Surabaya					Jakarta				
	SUF 1	SUF 3	SUF 4	SUF 6	SUF 7	DKI1	DKI2	DKI3	DKI4	DKI 5 JAF4
<i>Tahun 2012</i>										
January	4.66	-	-	-	-	32.84	32.88	11.91	22.69	- 9.05
February	5.03	73.12	-	-	-	35.68	40.41	21.3	37.69	- 4.89
March	12.34	83.42	14.96	-	-	28.09	32.55	13.46	26.13	- 17.27
April	11.53	86.16	9.36	-	-	56.38	40.98	26.72	34.86	- 36.65
May	8.17	85.04	3.95	-	-	57.24	39.43	27.99	36.83	- 41.07
June	13.61	-	-	-	-	56.15	36.82	30.2	35.34	- 40.76
July	15.52	-	16.67	-	-	71.24	46.93	28.55	37.94	- 37.84
August	11.57	-	7.47	-	-	56.2	34.34	23.38	30.14	- 34.07

Periode	Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)										
	Surabaya					Jakarta					
	SUF 1	SUF 3	SUF 4	SUF 6	SUF7	DKI1	DKI2	DKI3	DKI4	DKI 5	JAF4
September	13.51	-	-	-	-	67.54	38.86	26.49	40.78	-	35.14
October	9.65	-	7.31	-	-	62.1	41.72	24.34	34.43	-	37.95
November	7.73	-		24.02	-	65.32	55.23	24.5	41.67	-	-
December	17.95	87.45	14.88	28.07	-	42.95	38.38	16.69	28.8	-	29.57
<i>Tahun 2013</i>											
January	2.99	6.51	8.76	18.69	-	38.91	33.44	12.94	24.10	22.45	-
February	3.44	1.84	-	21.42	-	47.17	40.02	16.96	28.67	26.58	-
March	3.33	2.13	-	21.73	-	50.90	43.04	17.87	28.94	29.90	-
April	-	1.35	-	5.15	-	46.84	38.10	20.70	27.45	32.55	-
May	-	0.04	-	15.16	-	55.10	42.18	23.63	31.83	35.72	-
June	-	-	7.08	20.33	-	51.62	40.76	22.72	30.90	33.30	-
July	-	-	16.61	15.23	-	54.65	39.47	24.58	31.83	38.88	-
August	-	-	6.15	5.70	-	43.78	31.72	20.88	26.06	29.85	-
September	-	-	12.36	12.69	-	57.11	42.39	20.84	28.98	31.30	-
October	-	-	-	11.63	-	59.97	49.99	22.31	27.83	33.44	-
November	-	-	-	15.93	-	51.97	52.11	18.91	24.08	31.54	-
December	-	-	-		-	45.56	45.39	16.37	20.82	21.46	-
<i>Tahun 2014</i>											
January	-	-	-	16.84	22.76	43.71	38.62	10.29	16.92	23.28	-
February	-	-	-	21.49	22.28	52.44	48.46	16.22	21.88	30.75	-
March	-	-	-	19.95	33.63	62.45	53.77	24.45	37.21	34.47	-
April	-	-	-	20.08	42.58	45.90	42.92	16.91	25.54	23.09	-
May	-	-	-	12.41	35.35	-	-	-	-	-	-
June	-	-	-	10.64	38.47	-	-	-	-	-	-
July	-	-	-	10.04	33.81	-	-	-	-	-	-
August	-	-	-	11.13	36.54	-	-	-	-	-	-
September	-	-	-	13.84	43.50	-	-	-	-	-	-
October	-	-	-	12.34	40.04	-	-	-	-	-	-
November	-	-	-	15.51	41.95	-	-	-	-	-	-
December	-	-	-	21.36	22.11	-	-	-	-	-	-
<i>Tahun 2015</i>											
January	-	-	-	18.16	5.86	-	-	-	-	-	-
February	-	-	-	20.94	7.95	-	-	-	-	-	-
March	-	-	-	17.03	6.87	-	-	-	-	-	-
April	-	-	-	18.77	8.95	-	-	-	-	-	-
May	-	-	-	9.58	10.08	-	-	-	-	-	-
June	-	-	-	8.69	15.84	-	-	-	-	-	-

Keterangan: (-) SPKU tidak dapat membaca gas NO_2 atau error

Dari Tabel 4.2, data konsentrasi NO₂ dalam satuan (µg/m³) dirubah ke dalam satuan (ppm). Untuk merubah ke dalam satuan (ppm), dapat dilihat pada persamaan 4.1 dan 4.2.

$$a \text{ ppm gas } i = \frac{M_i \times 1000 \times P_{atm}}{RT_{atm}} \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) \dots \dots \dots (4.1)$$

$$\left(\frac{\mu g}{m^3} \right) = \frac{RT_{atm}}{M_i \times 1000 \times P_{atm}} \times a(\text{ppm}) \dots \dots \dots (4.2)$$

Keterangan:

M_i = Massa Molekul (g/Mol)

P_{atm} = Tekanan Atmosfer (atm)

R = 0,0821 (L.atm/Mol.K)

T_{atm} = Suhu (Kelvin)

Pada persamaan 4.1, diambil contoh data konsentrasi NO₂ di kota Surabaya pada Bulan Januari tahun 2012 di lokasi SUF1 (Lihat Tabel 4.2) yaitu sebesar 4,66 µg/m³. Kondisi udara ambien disesuaikan dengan kondisi ruang dengan $P = 1$ atm dengan suhu $T = 298$ K, dan massa molekul (MR) gas NO₂ adalah 46. Sehingga hasil konsentrasi gas NO₂ di SUF1 pada bulan Januari 2012 adalah 0,00248 ppm. Dan untuk hasil konversi secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Data SPKU (dalam satuan ppm)

Periode	Konsentrasi (ppm)										
	Surabaya						Jakarta				
	SUF 1	SUF 3	SUF 4	SUF 6	SUF7	DKI1	DKI2	DKI3	DKI4	DKI 5	JAF4
<i>Tahun 2012</i>											
January	0.00248	-	-	-	-	0.01746	0.01748	0.00633	0.01206	-	0.00481
February	0.00268	0.03886	-	-	-	0.01896	0.02148	0.01132	0.02003	-	0.00260
March	0.00656	0.04434	0.00795	-	-	0.01493	0.01730	0.00715	0.01389	-	0.00918
April	0.00613	0.04580	0.00498	-	-	0.02997	0.02178	0.01420	0.01853	-	0.01948
May	0.00434	0.04520	0.00210	-	-	0.03042	0.02096	0.01488	0.01958	-	0.02183
June	0.00724	-	-	-	-	0.02984	0.01957	0.01605	0.01878	-	0.02166
July	0.00825	-	0.00886	-	-	0.03787	0.02494	0.01517	0.02017	-	0.02011
August	0.00615	-	0.00397	-	-	0.02987	0.01825	0.01243	0.01602	-	0.01811
September	0.00718	-	-	-	-	0.03590	0.02065	0.01408	0.02168	-	0.01868
October	0.00513	-	0.00389	-	-	0.03301	0.02217	0.01294	0.01830	-	0.02017

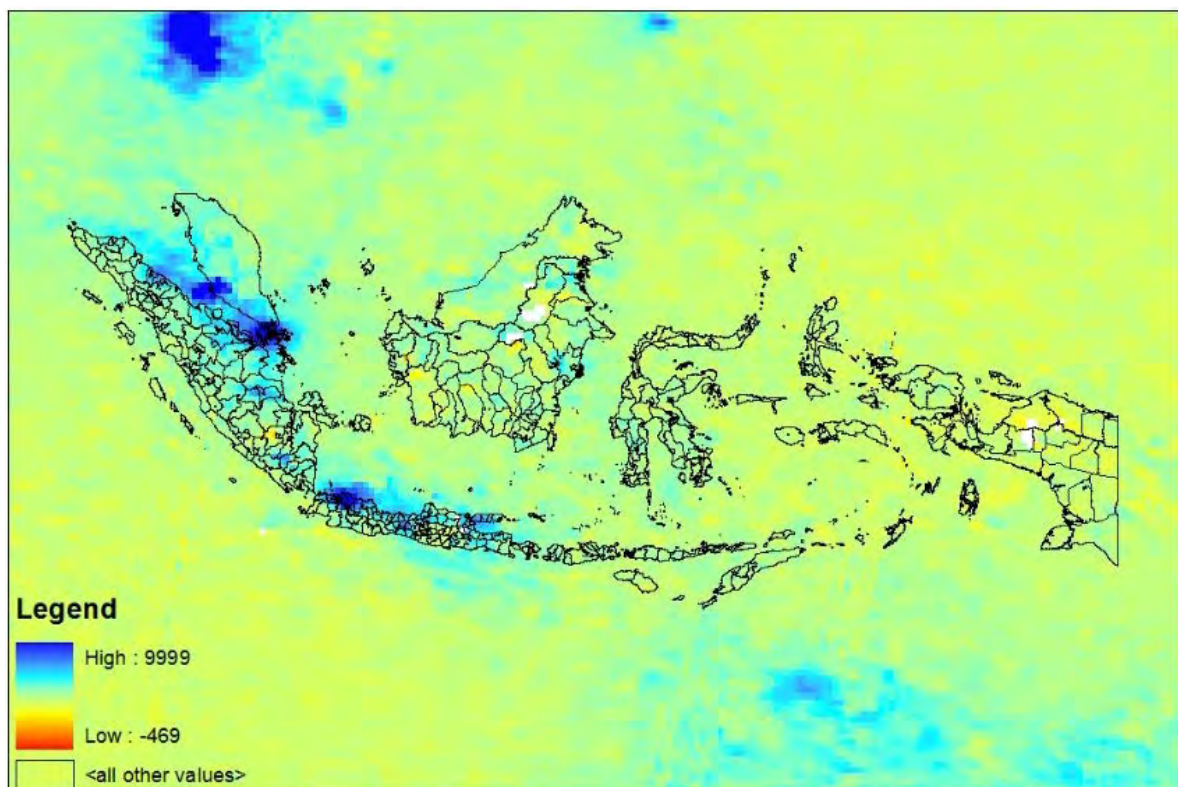
Periode	Konsentrasi (ppm)										
	Surabaya					Jakarta					
	SUF 1	SUF 3	SUF 4	SUF 6	SUF7	DKI1	DKI2	DKI3	DKI4	DKI 5	JAF4
November	0.00411	-	-	0.01277	-	0.03472	0.02936	0.01302	0.02215	-	-
December	0.00954	0.04648	0.00791	0.01492	-	0.02283	0.02040	0.00887	0.01531	-	0.01572
<i>Tahun 2013</i>											
January	0.00159	0.00346	0.00466	0.00993	-	0.02068	0.01778	0.00688	0.01281	0.01193	-
February	0.00183	0.00098	-	0.01138	-	0.02507	0.02127	0.00902	0.01524	0.01413	-
March	0.00177	0.00113	-	0.01155	-	0.02706	0.02288	0.00950	0.01538	0.01589	-
April	-	0.00072	-	0.00274	-	0.02490	0.02025	0.01100	0.01459	0.01730	-
May	-	0.00002	-	0.00806	-	0.02929	0.02242	0.01256	0.01692	0.01899	-
June	-	-	0.00376	0.01081	-	0.02744	0.02167	0.01207	0.01642	0.01770	-
July	-	-	0.00883	0.00809	-	0.02905	0.02098	0.01307	0.01692	0.02067	-
August	-	-	0.00327	0.00303	-	0.02327	0.01686	0.01110	0.01385	0.01587	-
September	-	-	0.00657	0.00674	-	0.03036	0.02253	0.01108	0.01540	0.01664	-
October	-	-	-	0.00618	-	0.03188	0.02657	0.01186	0.01479	0.01777	-
November	-	-	-	0.00847	-	0.02762	0.02770	0.01005	0.01280	0.01676	-
December	-	-	-	-	-	0.02422	0.02413	0.00870	0.01107	0.01141	-
<i>Tahun 2014</i>											
January	-	-	-	0.00895	0.01210	0.02323	0.02053	0.00547	0.00899	0.01237	-
February	-	-	-	0.01142	0.01184	0.02787	0.02576	0.00862	0.01163	0.01634	-
March	-	-	-	0.01060	0.01787	0.03319	0.02858	0.01299	0.01978	0.01832	-
April	-	-	-	0.01067	0.02263	0.02440	0.02281	0.00899	0.01357	0.01227	-
May	-	-	-	0.00660	0.01879	-	-	-	-	-	-
June	-	-	-	0.00566	0.02045	-	-	-	-	-	-
July	-	-	-	0.00534	0.01797	-	-	-	-	-	-
August	-	-	-	0.00592	0.01942	-	-	-	-	-	-
September	-	-	-	0.00736	0.02312	-	-	-	-	-	-
October	-	-	-	0.00656	0.02128	-	-	-	-	-	-
November	-	-	-	0.00824	0.02230	-	-	-	-	-	-
December	-	-	-	0.01135	0.01175	-	-	-	-	-	-
<i>Tahun 2014</i>											
January	-	-	-	0.00965	0.00311	-	-	-	-	-	-
February	-	-	-	0.01113	0.00423	-	-	-	-	-	-
March	-	-	-	0.00905	0.00365	-	-	-	-	-	-
April	-	-	-	0.00998	0.00476	-	-	-	-	-	-
May	-	-	-	0.00509	0.00536	-	-	-	-	-	-
June	-	-	-	0.00462	0.00842	-	-	-	-	-	-

Keterangan: (-) SPKU tidak dapat membaca gas NO₂ atau error

4.2 Data dari Satelite GOME 2 MetOP-A

Data satelit GOME 2 MetOP-A diunduh dalam website www.temis.nl. Data tersebut merupakan data hasil scanning satellite MetOP-A yang telah diolah oleh

KNMI (*Royal Netherlands Meteorological Institute*). Data hasil olahan KNMI berupa data scanning satelit MetOP-A yang melingkupi seluruh dunia dengan rentang waktu harian atau bulanan. Data harian berupa data dengan format *hdf*, sedangkan data bulanan berupa data dengan format *grd*. Dalam studi ini, data yang dibutuhkan adalah data bulanan. Data bulanan tersebut dibaca menggunakan aplikasi *ArcGIS*. Untuk membuka dengan aplikasi *ArcGIS*, data bulanan yang telah diunduh dengan format *grd* harus dirubah ke dalam format *ASCII*. Langkah-langkah untuk merubah format data tersebut dapat dilihat dalam *Lampiran*. Hasil pembukaan dengan aplikasi *ArcGIS* dapat dilihat pada Gambar 4.1.

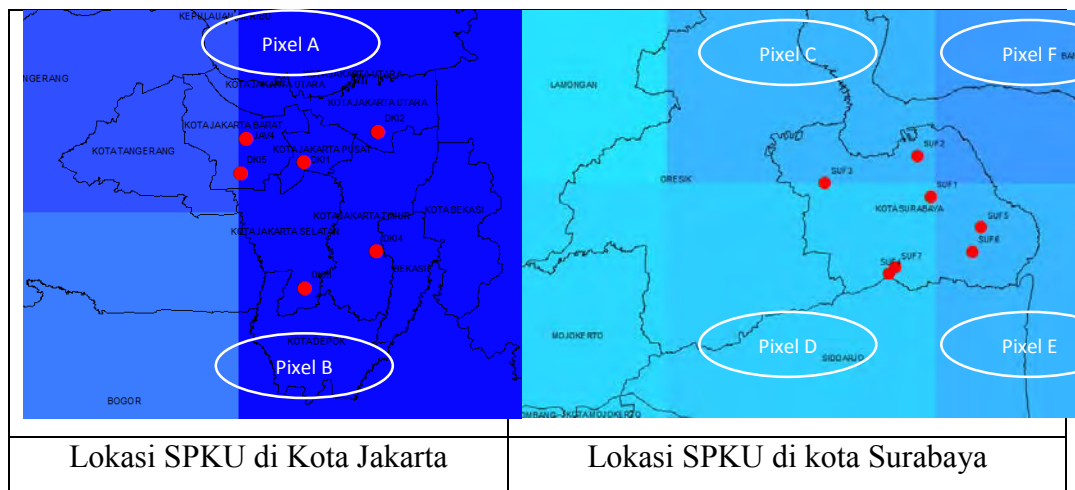


Gambar 4.1 Visualisasi Total Kolom NO₂ di Indonesia melalui citra satelit GOME 2 MetOP-A

Pada gambar 4.1, menunjukkan contoh visualisasi satelit GOME 2 MetOP-A di Indonesia pada bulan Januari tahun 2012 oleh aplikasi *ArcGIS*. Dari gambar tersebut memperlihatkan titik-titik pixel warna dalam setiap daerah. Setiap pixel warna masing-masing memiliki nilai pixel (*pixel value*). Dalam satu titik pixel mencakup luas area 1600 km² (40 km x 40 km).

a. Lokasi SPKU Berdasarkan Pixel Satelit GOME 2 MetOP-A

Penentuan lokasi berdasarkan titik stasiun pantau yang berada di kota Surabaya dan Jakarta. Dari hasil scanning satelit GOME 2 MetOP-A, lokasi SPKU di kota Surabaya mencakup 4 titik pixel. Di kota Jakarta, lokasi SPKU hanya mencakup 2 pixel. Lokasi SPKU tersebut secara detail dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.2.



Keterangan : ● Lokasi SPKU

Gambar 4.2 Lokasi SPKU di Kota Jakarta dan Surabaya

Pada gambar 4.2, lokasi SPKU di kota Jakarta mencakup 2 titik pixel (pixel A dan pixel B). Pixel A mencakup titik SPKU diantaranya DKI1, DKI2, DKI5 dan JAF4. Pixel B mencakup DKI3 dan DKI4. Sedangkan di kota Surabaya terbagi menjadi 4 titik pixel. Namun lokasi SPKU hanya mencakup di 3 titik pixel (yaitu pixel C, pixel D dan pixel E). Pixel C mencakup SUF3. Pixel D mencakup SUF1, SUF4, dan SUF 7. Pixel E hanya mencakup SUF6.

b. Rekapitulasi Data dari Satelit GOME 2 MetOP-A

Data dari satelit GOME 2 MetOP-A merupakan data bulanan dari Januari tahun 2012 hingga bulan Juni tahun 2015. Data tersebut berupa nilai pixel atau kolom NO_2 (10^{15} molecule/cm²) tiap bulannya pada setiap titik SPKU (lihat gambar 4.2). Untuk rekapitulasi nilai pixel per bulan dari bulan

Januari 2012 hingga bulan Juni 2015 pada setiap titik SPKU dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Data Satelit GOME 2 MetOP-A

Periode	Pixel Value (10 ¹⁵ molecule/cm ²)												
	Surabaya								Jakarta				
	SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF7	DKI1	DKI2	DKI3	DKI4	DKI5	JAF4
Tahun 2012													
January	238	268	268	238	268	268	238	515	515	496	496	515	515
February	372	408	408	372	362	362	372	624	624	700	700	624	624
March	307	304	304	307	312	312	307	590	590	524	524	590	590
April	365	367	367	365	342	342	365	629	629	658	658	629	629
May	357	325	325	357	344	344	357	765	765	629	629	765	765
June	322	335	335	322	322	322	322	781	781	678	678	781	781
July	405	442	442	405	371	371	405	783	783	682	682	783	783
August	335	375	375	335	294	294	335	610	610	487	487	610	610
September	408	405	405	408	372	372	408	783	783	782	782	783	783
October	377	399	399	377	339	339	377	697	697	562	562	697	697
November	378	401	401	378	335	335	378	674	674	705	705	674	674
December	366	409	409	366	365	365	366	507	507	252	252	507	507
Tahun 2013													
January	285	336	336	285	295	295	285	170	170	172	172	170	170
February	374	418	418	374	320	320	374	910	910	962	962	910	910
March	324	336	336	324	306	306	324	849	849	676	676	849	849
April	357	363	363	357	302	302	357	1001	1001	857	857	1001	1001
May	370	361	361	370	306	306	370	733	733	666	666	733	733
June	372	433	433	372	351	351	372	678	678	666	666	678	678
July	272	417	417	272	354	354	272	727	727	535	535	727	727
August	481	485	485	481	415	415	481	1019	1019	812	812	1019	1019
September	597	591	591	597	466	466	597	1052	1052	806	806	1052	1052
October	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
November	358	411	411	358	316	316	358	1389	1389	1283	1284	1389	1389
December	541	799	799	541	458	458	541	969	969	-	-	969	969
Tahun 2014													
January	507	492	492	507	460	460	507	1522	1522	1186	1186	1522	1522
February	316	376	376	316	422	422	316	1412	1412	1256	1256	1412	1412
March	691	674	674	691	502	502	691	1879	1879	1814	1814	1879	1879
April	611	577	577	611	451	451	611	995	995	909	909	995	995
May	648	619	619	648	430	430	648	1220	1220	929	929	1220	1220
June	485	518	518	485	573	573	485	1324	1324	982	982	1324	1324
July	546	568	568	546	377	377	546	-	-	-	-	-	-
August	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Periode	Pixel Value (10^{15} molecule/cm ²)												
	Surabaya							Jakarta					
	SUF 1	SUF 2	SUF 3	SUF 4	SUF 5	SUF 6	SUF 7	DKI1	DKI2	DKI3	DKI4	DKI5	JAF4
September	-	-	-	-	-	-	-	1116	1116	863	863	1116	1116
October	-	-	-	-	-	-	-	966	966	436	436	966	966
November	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
December	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tahun 2015</i>													
January	-	-	-	-	-	478	515	-	-	-	-	-	-
February	-	-	-	-	-	349	347	-	-	-	-	-	-
March	-	-	-	-	-	402	493	-	-	-	-	-	-
April	-	-	-	-	-	559	683	-	-	-	-	-	-
May	-	-	-	-	-	593	678	-	-	-	-	-	-
June	-	-	-	-	-	471	546	-	-	-	-	-	-

Copyright © TEMIS/ESA; <http://www.temis.nl/>
Keterangan: (-) Terjadi error

4.3 Analisa NO₂ dengan Model Regresi Linier dan Validasi

Analisa data dilakukan dengan model regresi linier dengan tujuan untuk memperoleh tingkat keakurasian (R square) dari hubungan konsentrasi NO₂ di permukaan (dari stasiun pantau) dengan nilai total kolom NO₂ (dari data satelit GOME 2 MetOP A). Jika tingkat akurasi tinggi (mendekati 1), maka persamaan regresi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai analisa konsentrasi NO₂ di lapisan troposfer bawah (NO₂ ambien). Setelah diketahui tingkat keakurasian dan persamaan regresinya, kemudian dilakukan eliminasi data (sebanyak 10% data) untuk memvalidasi data.

a. Analisa Data Berdasarkan Pixel

Data yang akan dianalisa merupakan data dari SPKU (lihat Tabel 4.2) dan data dari satelit GOME 2 MetOP-A (Lihat Tabel 4.4). Data tersebut digolongkan berdasarkan pixel (Lihat gambar 4.2). Informasi jumlah dan lama periode data yang di dapatkan dari SPKU berdasarkan Area Pixel dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Informasi Jumlah Data Konsentrasi NO₂ berdasarkan Area Pixel

Area Pixel	Cakupan SPKU	Jumlah Data	Lama Periode
A	DKI1	28 data	Jan 2012 – Apr 2013
	DKI2	28 data	Jan 2012 – Apr 2013

Area Pixel	Cakupan SPKU	Jumlah Data	Lama Periode
B	DKI5	16 data	Jan 2013 – Apr 2013
	JAF4	11 data	Jan 2012 – Des 2012
	DKI3	28 data	Jan 2012 – Apr 2013
	DKI4	28 data	Jan 2012 – Apr 2013
C	SUF3	10 data	Feb 2012 – Mei 2013
D	SUF1	15 data	Jan 2012 – Mar 2013
	SUF4	12 data	Mar 2012 – Sep 2013
	SUF7	18 data	Jan 2014 – Jun 2015
E	SUF6	31 data	Nov 2012 – Jun 2015

Tabel 4.5 diatas menunjukkan jumlah data konsentrasi NO₂ yang diperoleh dari SPKU berjumlah 225 data, namun data total kolom NO₂ yang didapatkan dari satelit GOME 2 MetOP A berdasarkan pixel area. Sehingga data dari SPKU yang terletak dalam pixel yang sama harus dirata-ratakan. Hasil rekapitulasi menghasilkan 119 pa sang data. Rekapitulasi data dari SPKU dan satelit berdasarkan area pixel dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Data ddari SPKU dan Satelit GOME 2 MetOP-A
berdasarkan pixel

Periode	Pixel A (DKI1, DKI2, DKI5 dan JAF4)		Pixel B (DKI3 dan DKI4)		Pixel C (SUF3)		Pixel D (SUF1, SUF4, dan SUF 7)		Pixel E (SUF6)	
	SPKU (ppm)	Satelit	SPKU (ppm)	Satelit	SPKU (ppm)	Satelit	SPKU (ppm)	Satelit	SPKU (ppm)	Satelit
<i>Tahun 2012</i>										
January	0.03974	515	0.01839	496	-	-	0.00248	238	-	-
February	0.04304	624	0.03135	700	0.03886	408	0.00268	372	-	-
March	0.04141	590	0.02104	524	0.04434	304	0.01451	307	-	-
April	0.07123	629	0.03273	658	0.04580	367	0.01111	365	-	-
May	0.07321	765	0.03445	629	0.04520	325	0.00644	357	-	-
June	0.07108	781	0.03484	678	-	-	0.00724	322	-	-
July	0.08292	783	0.03534	682	-	-	0.01711	405	-	-
August	0.06623	610	0.02845	487	-	-	0.01012	335	-	-
September	0.07523	783	0.03576	782	-	-	0.00718	408	-	-
October	0.07535	697	0.03124	562	-	-	0.00902	377	-	-
November	0.06407	674	0.03517	705	-	-	0.00411	378	0.01277	335
December	0.05895	507	0.02418	252	0.04648	409	0.01745	366	0.01492	365
<i>Tahun 2013</i>										
January	0.05039	170	0.01969	172	0.00346	336	0.00625	285	0.00993	295
February	0.06047	910	0.02426	962	0.00098	418	0.00183	374	0.01138	320
March	0.06583	849	0.02488	676	0.00113	336	0.00177	324	0.01155	306

Periode	Pixel A (DKI1, DKI2, DKI5 dan JAF4)		Pixel B (DKI3 dan DKI4)		Pixel C (SUF3)		Pixel D (SUF1, SUF4, dan SUF 7)		Pixel E (SUF6)	
	SPKU (ppm)	Satelit	SPKU (ppm)	Satelit	SPKU (ppm)	Satelit	SPKU (ppm)	Satelit	SPKU (ppm)	Satelit
April	0.06245	1001	0.02559	857	0.00072	363	-	-	0.00274	302
May	0.07070	733	0.02948	666	0.00002	361	-	-	0.00806	306
June	0.06680	678	0.02850	666	-	-	0.00376	372	0.01081	351
July	0.07069	727	0.02999	535	-	-	0.00883	272	0.00809	354
August	0.05599	1019	0.02495	812	-	-	0.00327	481	0.00303	415
September	0.06952	1052	0.02648	806	-	-	0.00657	597	0.00674	466
October	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
November	0.07208	1389	0.02285	1283	-	-	-	-	-	-
December	0.05975	969	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tahun 2014</i>										
January	0.05613	1522	0.01446	1186	-	-	0.01210	507	0.00895	460
February	0.06998	1412	0.02026	1256	-	-	0.01184	316	0.01142	422
March	0.08009	1879	0.03277	1814	-	-	0.01787	691	0.01060	502
April	0.05948	995	0.02256	909	-	-	0.02263	611	0.01067	451
May	-	-	-	-	-	-	0.01879	648	0.00660	430
June	-	-	-	-	-	-	0.02045	485	0.00566	573
July	-	-	-	-	-	-	0.01797	546	0.00534	377
August	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
September	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
October	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
November	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
December	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tahun 2015</i>										
January	-	-	-	-	-	-	0.00311	515	0.00965	478
February	-	-	-	-	-	-	0.00423	347	0.01113	349
March	-	-	-	-	-	-	0.00365	493	0.00905	402
April	-	-	-	-	-	-	0.00476	683	0.00998	559
May	-	-	-	-	-	-	0.00536	678	0.00509	593
June	-	-	-	-	-	-	0.00842	546	0.00462	471

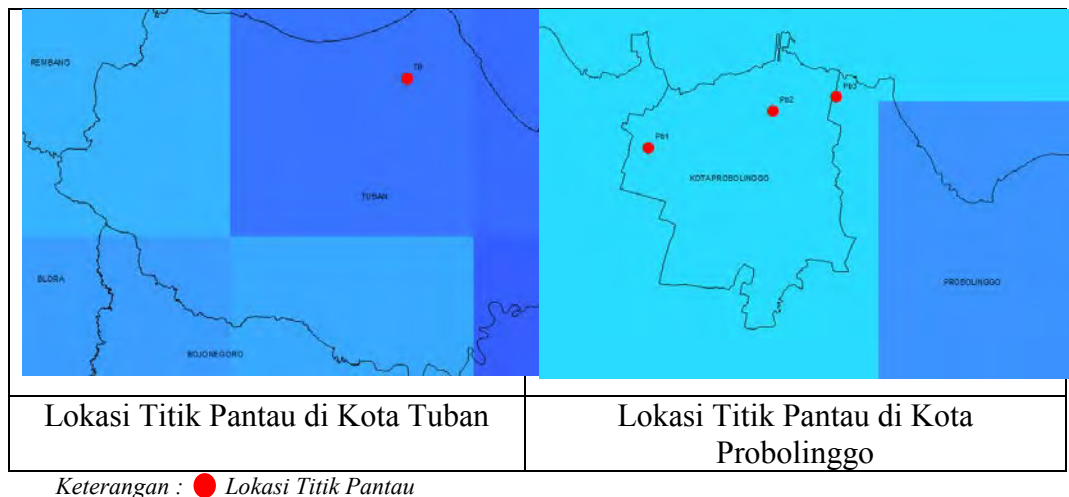
Keterangan: (-) Terjadi error

Dari data pada Tabel 4.6, dilakukan analisa menggunakan model regresi. Tujuan dilakukan analisa menggunakan model regresi adalah untuk mengetahui koefisien determinasi (*R Square*) dan persamaan regresinya. Kemudian dari persamaan regresi, dilakukan validasi data.

b. Data Pengukuran Manual

Data pengukuran manual diperlukan untuk model regresi maupun validasi. Data tersebut digunakan untuk mewakili daerah yang memiliki

tingkat potensi pencemaran NO₂ yang rendah. Daerah yang dipilih dalam penelitian ini yaitu kota Probolinggo dan Kota Tuban. Data NO₂ kota Probolinggo diambil di tiga lokasi (PB1, PB2, dan PB3) dari pengukuran secara langsung pada bulan Oktober tahun 2015. Data NO₂ kota Tuban diambil di 1 lokasi (TB) dari data hasil lab PT. Abadi Cement pada bulan Oktober 2015. Visualisasi data total kolom NO₂ dalam pixel pada setiap titik pantaudapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Lokasi Titik Pantau di Kota Tuban dan Probolinggo

Pengambilan sampling NO₂ di kota Tuban, berada di desa Tobo. Sedangkan pengambilan sampling NO₂ di kota probolinggo, yakni TB1 berada di Terminal kota Probolinggo, TB2 berada di rumah makan KFC, dan TB3 berada di TWSL. Data mengenai koordinat pada setiap lokasi dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Koordinat lokasi Titik Sampling di kota Tuban dan Probolinggo

Kota	Titik Pantau	Nama Lokasi	Koordinat x y	Koordinat
Probolinggo	Pb1	Terminal	-7.7655, 113.17362	113° 10' 25.032" E dan 7° 45' 55.872" S
	Pb2	KFC	-7.7533, 113.2150	113° 12' 54.081" E dan 7° 45' 11.931" S
	Pb3	TWSL	-7.7486, 113.2361	113° 14' 10.197" E dan 7° 44' 55.093" S
Tuban	TB	Desa Tobo	-6.8386, 111.9322	111°55'56,53''T dan 06°50'19,79'' S

Sampling dilakukan hanya satu kali, sehingga data pengukuran manual konsentrasi NO₂ di kota Tuban dan Probolinggo sebanyak 4 data dengan satuan ppm. Data total kolom NO₂ dari satelit GOME 2 MetOP-A hasil olahan dari KNMI yang digunakan yaitu data bulan Oktober 2015. Untuk Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ maupun nilai total kolomnya dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Rekapitulasi data konsentrasi dan nilai total kolom NO₂ di kota Tuban dan kota Probolinggo

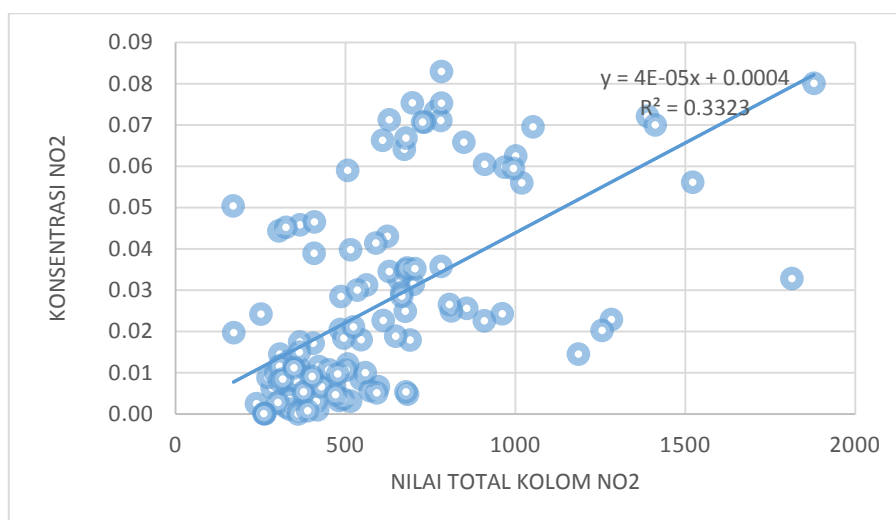
Lokasi	Konsentrasi (mg/m ³)	Konsentrasi (ppm)	Total kolom NO ₂ (10 ¹⁵ molecule/cm ²)
PB1*	1.32	7.01605E-05	263
PB2*	0.6	3.18911E-05	263
PB3*	0.49	2.60444E-05	260
TB**	15	0.01	389

*Kristy Y.W (2015)

**PT. Unilab Perdana (2016)

c. Model Regresi

Pada Tabel 4.6, terdapat 238 data dari SPKU maupun dari satelit GOME 2 MetOP-A. Data tersebut dijadikan model regresi dengan asumsi nilai 'x' merupakan data total kolom NO₂ (10¹⁵ molecule/cm²) dari satelit GOME 2 MetOP-A dan nilai 'y' merupakan konsentrasi NO₂ dari SPKU (ppm). Kemudian dijadikan grafik untuk menentukan model regresinya. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.4.



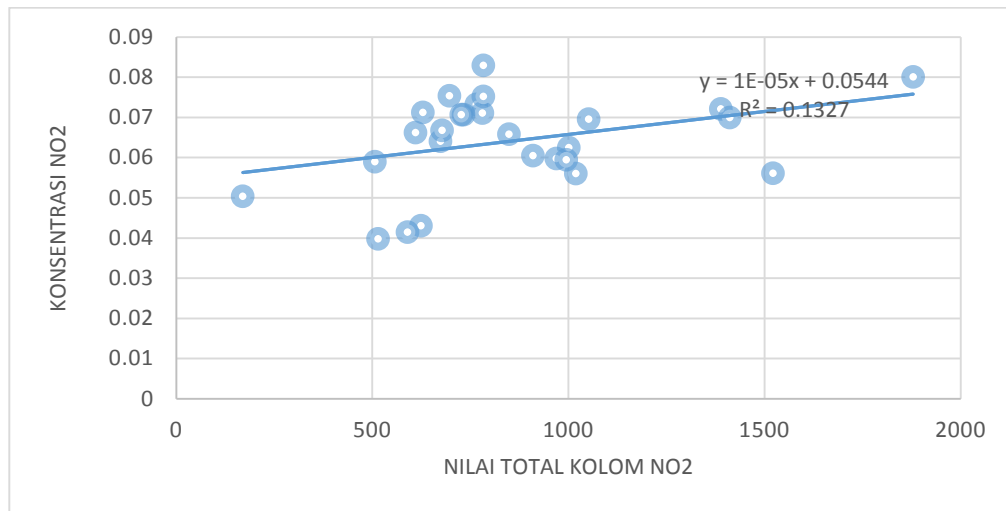
Gambar 4.4 Model Regresi

Dari grafik pada Gambar 4.4, didapatkan nilai determinasi *R square* (R^2) sebesar 0,3323 dengan persamaan regresi $y = 4.10^{-5}x + 0.0004$. Nilai R^2 tersebut menjelaskan tingkat keakurasian cukup lemah. Hal ini dikarenakan senyawa NO_2 sangat tidak stabil di permukaan. NO_2 sangat cepat bereaksi terhadap senyawa lain seperti OH, H_2O , maupun sinar Ultra Violet. Selain itu, pengukuran menggunakan citra satelit dilakukan dalam skala global, yakni $\pm 40 \times 40 \text{ m}^2$. Sedangkan dalam area 1 pixel pengukuran, hanya diambil beberapa titik SPKU. Sehingga perlu memperhatikan faktor faktor persebaran NO_2 di troposfer.

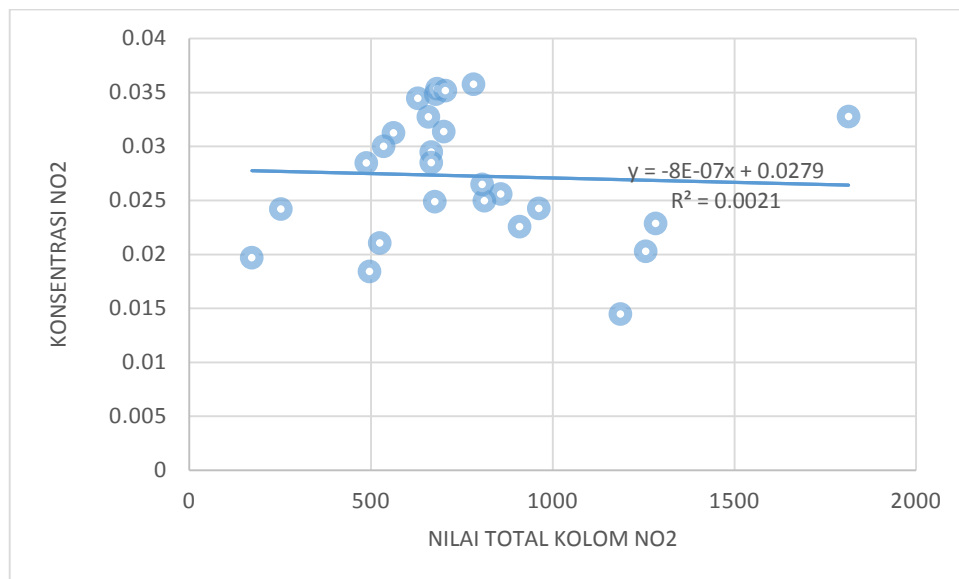
Menurut Supriyadi, E (2009), sesaat setelah NO_2 diemisikan ke dalam udara, selanjutnya atmosfer berperan dalam perpindahan, difusi, reaksi kimia dan pengangkutan NO_2 tersebut. Empat proses di atmosfer tersebut selanjutnya disebut dispersi. Proses dispersi polutan di atmosfer dipengaruhi oleh kondisi fisik meteorologi setempat seperti Radiasi Cahaya Matahari, suhu dan stabilitas atmosfer, distribusi angin, kelembaban udara serta dipengaruhi oleh gejala cuaca seperti presipitasi. Selain itu tingkat kepadatan awan juga perlu diperhatikan. Karena hal tersebut sangat mempengaruhi metode pengukuran NO_2 oleh citra satelit.

Dari hasil grafik regresi linear, didapatkan nilai *R square* yang sangat lemah dikarenakan dalam area pengukuran satelit (luas area $\pm 40 \times 40 \text{ km}$) hanya diambil beberapa titik pengukuran NO_2 di permukaan bumi. Sehingga perlu analisa regresi linear per pixel untuk membuktikan bahwa semakin banyak titik pengukuran dalam satu area pixel maka akan semakin baik nilai *R square* (R^2).

Pada Gambar 4.5, merupakan grafik model regresi linear dari Pixel A. Pixel A terdiri dari 4 titik SPKU yakni DKI 1, 2, 5 dan JAF 4. Dari hasil regresi pada pixel A, didapatkan nilai *R square* (R^2) sebesar 0,1327. Sebagai pembanding yakni pixel B yang terdiri dari 2 stasiun pantau (DKI 3 dan DKI 4). Hasil regresi linear dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Model Regresi Pixel A



Gambar 4.6 Model Regresi Pixel B

Pada gambar 4.6, didapatkan hasil *R square* sebesar 0,0021. Hasil tersebut jauh lebih kecil dibanding nilai *R square* dari pixel A pada Gambar 4.9. Dari kedua perbandingan pixel tersebut (dengan jumlah data yang hampir sama) memperkuat hasil pembahasan bahwa semakin banyak titik pantau dalam satu pixel area, maka semakin baik nilai *R square* nya. Hasil perhitungan regresi pada pixel C hingga pixel E, dapat dilihat pada *lampiran*. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai *R square* untuk setiap pixel area dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Rekapitulasi nilai R Square Tiap Pixel

Pixe l	Jumlah SPKU	Cakupan SPKU	Jumlah Data	Nilai R ² (R Square)
A	4 titik	DKI1, DKI2, DKI5 dan JAF4	27	0.1327
B	2 titik	DKI3 dan DKI4	26	0.0021
C	1 titik	SUF3	10	0.0011
D	3 titik	SUF1, SUF4, dan SUF 7	32	0.0977
E	2 titik	SUF 5 dan SUF6	24	0.0716

Pada Tabel 4.18, didapat hasil nilai *R square* terbesar hingga terkecil yakni pixel A (4 titik SPKU) > pixel D (3 titik SPKU) > pixel E (2 titik SPKU) > pixel B (2 titik SPKU) > pixel C (1 titik SPKU). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyak titik pantau (konsentrasi NO₂) dalam 1 pixel area, maka semakin besar korelasinya dengan nilai total kolom (dari satelit GOME 2 MetOP-A).

d. Validasi data

Validasi data dilakukan dengan cara menyisihkan 10% dari data pada Tabel 4.6 (Data NO₂ di kota Surabaya dan Jakarta) dan Tabel 4.8 (Data NO₂ di kota Tuban dan Probolinggo). Jumlah data konsentrasi NO₂ maupun data total kolom NO₂ masing-masing sebanyak 119 data. Sehingga data yang perlu disisihkan adalah sebanyak 11,9 data atau 12 data. Data yang disisihkan tersebut digunakan untuk menguji hasil regresi dari 107 data sisanya. Penyisihan data dilakukan dengan cara random sampling. Hasil random sampling dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data yang disisihkan

Area Pixel	Lokasi	Periode	Konsentrasi NO ₂ (Y)	Nilai Total Kolom (X)
D	SUF1,4,7	Apr 2012	0.011105	365
		Oct 2012	0.009016	377
		Mar 2014	0.017873	691
C	SUF3	Jan 2013	0.003461	336
E	SUF5,6	Jan 2013	0.009932	295
		Jun 2013	0.010808	351
		Nov 2013	0.008468	316

Area Pixel	Lokasi	Periode	Konsentrasi NO ₂ (Y)	Nilai Total Kolom (X)
A	DKI1,2,5 dan JAF4	Feb 2014	0.01142	422
		May 2012	0.073211	765
		Aug 2013	0.055993	1019
		Feb 2014	0.069975	1412
B	DKI3 dan 4	Dec 2012	0.024179	252

Data yang berjumlah 107 sisanya (data selain pada Tabel 4.10) dilakukan uji regresi linier, sehingga didapatkan persamaan $y = 4.10^{-5}x + 0.0015$. Persamaan tersebut disubstitusikan ke dalam nilai total kolom NO₂ (X) pada Tabel 4.10, sehingga didapatkan nilai validasi y (validasi konsentrasi NO₂). Hasil validasi dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Validasi

Area Pixel	Lokasi	Periode	Konsentrasi NO ₂ (Y)	Nilai Total Kolom NO ₂ (X)	Validasi Y
D	SUF1,4,7	Apr 2012	0.011105	365	0.01610
		Oct 2012	0.009016	377	0.01658
		Mar 2014	0.017873	691	0.02914
C	SUF3	Jan 2013	0.003461	336	0.01494
E	SUF5,6	Jan 2013	0.009932	295	0.01330
		Jun 2013	0.010808	351	0.01554
		Nov 2013	0.008468	316	0.01414
		Feb 2014	0.01142	422	0.01838
A	DKI1,2,5 dan JAF4	May 2012	0.073211	765	0.03210
		Aug 2013	0.055993	1019	0.04226
		Feb 2014	0.069975	1412	0.05798
B	DKI3 dan 4	Dec 2012	0.024179	252	0.01158

Tabel 4.11 dapat menjelaskan tentang rentang selisih hasil validasi. Jika dilihat secara keseluruhan, hasil validasi hampir mendekati nilai Y (konsentrasi NO₂) namun ada beberapa data yang rentang selisihnya terlalu jauh, yakni data di area pixel C pada bulan Januari 2013 dan data di area pixel B pada bulan Desember 2012.

4.4 Analisa Pengaruh Musim di Indonesia terhadap Pola Peningkatan NO₂ di Area Stasiun Pantau

Analisa pengaruh musim terhadap pola peningkatan NO₂ di area stasiun pantau dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hubungan antara tingkat konsentrasi maupun nilai total kolom di area stasiun pantau terhadap perubahan musim di Indonesia. Perubahan musim ditentukan setiap enam bulan sekali dan berdasarkan data curah hujan dari Badan Pusat Statistik (BPS) masing-masing kota. Musim hujan ditentukan berdasarkan rata-rata curah hujan tertinggi selama enam bulan dalam satu tahun. Data curah hujan yang tersedia dari BPS untuk wilayah Jakarta hanya ada selama 4 tahun dari tahun 2011 hingga tahun 2012.

Tabel 4.12 Rekapitulasi Data Curah Hujan Kota Jakarta

Bulan	Curah Hujan (mm ²)				Rata-Rata
	2010	2011	2012	2013	
Januari	354.5	145.6	275.1	621.9	349.3
Februari	223.0	230.7	157.9	146.6	189.6
Maret	175.8	147.7	173.6	184.4	170.4
April	63.1	106.8	196.2	204.3	142.6
Mei	112.1	198.9	118.0	101.0	132.5
Juni	187.7	70.5	67.2	256.7	145.5
Juli	219.2	18.1	13.6	256.7	126.9
Agustus	137.2	1.5	2.4	61.4	50.6
September	256.7	52.6	16.2	49.5	93.8
Oktober	365.6	80.1	44.3	110.1	150.0
Nopember	167.6	44.6	251.9	196.6	165.2
Desember	142.0	177.0	254.0	338.0	227.8

Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta (BPS-Statistics of DKI Jakarta Province)

■ Asumsi musim kemarau

Pada Tabel 4.12, musim hujan di kota Jakarta ditentukan dari rata-rata curah hujan terbesar pada 6 bulan selama 4 tahun, yakni mulai bulan Oktober hingga Maret. Sedangkan musim kemarau terjadi dari bulan April hingga September. Data curah hujan yang tersedia dari BPS untuk wilayah Surabaya hanya ada selama 5 tahun dari tahun 2010 hingga tahun 2014. Data curah hujan di kota Surabaya didapatkan dari hasil pemantauan stasiun meteorologi Juanda Surabaya.

Tabel 4.13 Rekapitulasi Data Curah Hujan Kota Surabaya

Bulan	Curah Hujan (mm ²)					Rata-rata
	2010	2011	2012	2013	2014	
Januari	581.7	230.5	445.9	364.9	259.0	376.4
Februari	487.6	212.8	179.1	287.0	247.0	282.7
Maret	313.5	398.5	210.9	461.1	455.0	367.8
April	140.8	140.8	140.8	140.8	273.0	167.2
Mei	373.8	156.8	114.0	195.8	105.0	189.1
Juni	91.9	31.3	67.7	239.5	202.0	126.5
Juli	135.8	30.7	-	109.2	48.0	80.9
Agustus	16.0	-	-	0.6	-	8.3
September	129.0	-	-	0.2	-	64.6
Oktober	269.2	9.7	2.1	3.6	-	71.2
Nopember	140.8	260.9	58.0	108.0	72.0	127.9
Desember	214.9	317.1	171.0	359.3	320.0	276.5

Stasiun Meteorologi Juanda Surabaya

■ Asumsi musim kemarau

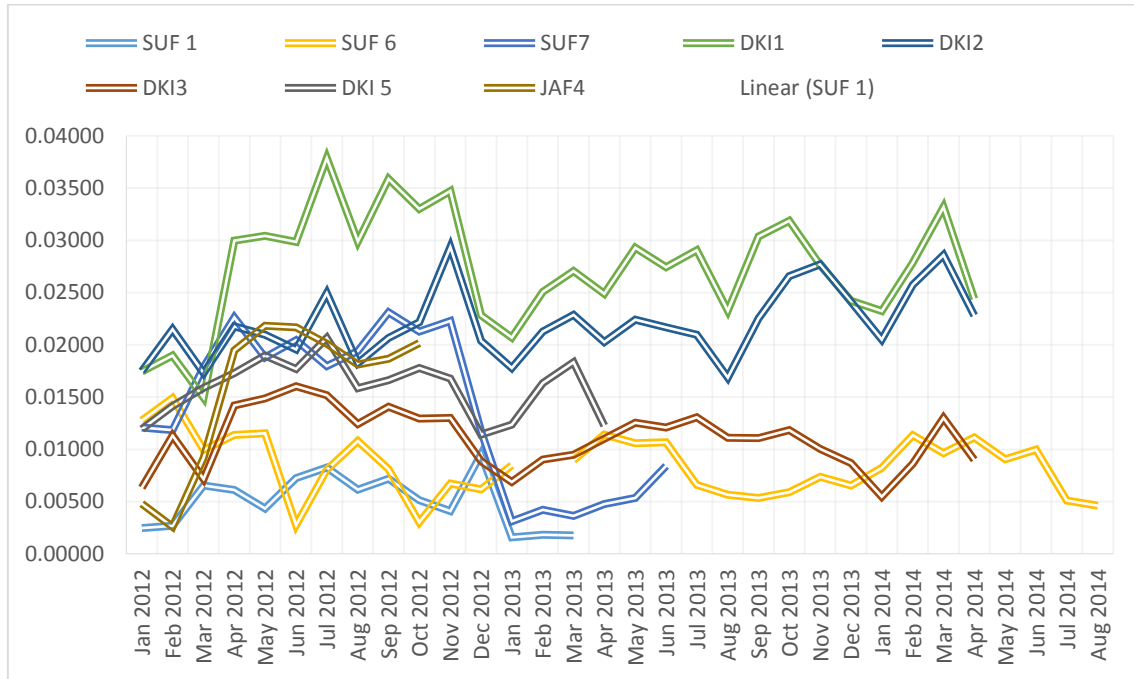
Pada Tabel 4.13, musim hujan di kota Surabaya ditentukan dari rata-rata curah hujan terbesar pada 6 bulan selama 4 tahun, yakni mulai bulan Desember hingga Mei. Sedangkan musim kemarau terjadi dari bulan Juni hingga Nopember. Untuk membandingkan data musim hujan dan musim kemarau maka dilakukan uji Anova searah (*one way anova*). Dilakukan uji anova searah karena hanya terdiri dari faktor tunggal yakni faktor musim.

a. Analisa Pola Konsentrasi NO₂ Terhadap Pengaruh Musim

Data dari Tabel 4.2 yang merupakan data bulanan nilai konsentrasi NO₂ dari SPKU dianalisa pola kenaikan dan penurunan nya. Analisa ini dilakukan dengan cara membuat grafik pada data konsentrasi NO₂ di setiap SPKU dalam periode waktu. Dari analisa ini akan diketahui pola gas NO₂ yang dihasilkan disekitar area SPKU dalam setiap periode nya. Grafik konsentrasi NO₂ dalam satuan (ppm) dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Hasil pada Grafik 4.7 menunjukkan pola peningkatan maupun penurunan konsentrasi NO₂ di setiap SPKU kota Surabaya maupun Jakarta berbeda. Hampir semua SPKU menunjukkan pola konsentrasi pada titik tertinggi rata-rata pada bulan Juli hingga bulan Desember. Sedangkan pada

bulan Januari hingga bulan Juni mengalami fluktuasi pola naik turun pada titik terendah.



Gambar 4.7 Pola Konsentrasi NO₂ (ppm)

Dari Gambar 4.7 masih belum bisa dibuktikan adanya hubungan perbedaan musim dengan peningkatan konsentrasi NO₂, karena pola pada grafik tidak beraturan. sehingga perlu dilakukan uji anova searah tiap stasiun pantau. Uji anova dilakukan dengan merekapitulasi data konsentrasi berdasarkan perbedaan musim kemarau dan musim hujan. Contoh rekapitulasi data SPKU pada stasiun pantau SUF 6 dapat dilihat pada Tabel 4.14. Rekapitulasi data dari stasiun pantau lainnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.14 Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di SUF 6

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Konsentrasi (ppm)			
2012	Juni	-	0.01492	Desember
	Juli	-	-	Januari
	Agustus	-	-	Februari
	September	-	-	Maret
	Oktober	-	-	April

2013	Nopember	0.01277	-	Mei
	Juni	0.01081	-	Desember
	Juli	0.00809	0.00993	Januari
	Agustus	0.00303	0.01138	Februari
	September	0.00674	0.01155	Maret
	Oktober	0.00618	0.00274	April
2014	Nopember	0.00847	0.00806	Mei
	Juni	0.00566	0.01135	Desember
	Juli	0.00534	0.00895	Januari
	Agustus	0.00592	0.01142	Februari
	September	0.00736	0.01060	Maret
	Oktober	0.00656	0.01067	April
2015	Nopember	0.00824	0.00660	Mei
	Juni	0.00462	-	Desember
	Juli	-	0.00965	Januari
	Agustus	-	0.01113	Februari
	September	-	0.00905	Maret
	Oktober	-	0.00998	April
	Nopember	-	0.00509	Mei

Data pada Tabel 4.14 diuji menggunakan anova searah menggunakan aplikasi *excell*. Tujuan pengujian data menggunakan annova searah adalah untuk mencari *P value* (signifikasi) sehingga dapat membuktikan adanya hubungan antara perubahan musim di Indonesia dengan data konsentrasi di stasiun pantau. Hasil pengujian data dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di SUF 6 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4.67E-05	1	4.67E-05	6.555434	0.015928	4.182964
Within Groups	0.000207	29	7.12E-06			
Total	0.000253	30				

Pada Tabel 4.15, *P value* sebesar 0,015928. Dan jika nilai *P value* < 0.05, maka faktor musim berpengaruh terhadap konsentrasi NO₂ pada area stasiun pantau SUF6. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi NO₂

di area SUF6 memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan musim di Indonesia. Rekapitulasi hasil uji anova (pengambilan keputusan dengan *P value*) untuk data konsentrasi pada setiap stasiun pantau di kota Jakarta dan Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Rekapitulasi hasil uji anova konsentrasi NO₂ di setiap stasiun pantau

Stasiun Pantau	α	<i>P value</i>	Status
SUF1	0.05	0.09607666	Ditolak
SUF3	0.05	1	Ditolak
SUF4	0.05	0.196854131	Ditolak
SUF6	0.05	0.015927674	Diterima
SUF7	0.05	0.013014866	Diterima
DKI1	0.05	0.059503833	Ditolak
DKI2	0.05	0.148309201	Ditolak
DKI3	0.05	0.00072452	Diterima
DKI4	0.05	0.087408636	Ditolak
DKI5	0.05	0.139641565	Ditolak
JAF4	0.05	0.012625463	Diterima

Dari Tabel 4.16, terdapat 11 stasiun pantau di kota Surabaya dan Jakarta yang dilakukan uji anova terhadap data konsentrasi NO₂. Data konsentrasi NO₂ pada empat stasiun pantau (SUF6, SUF7, DKI3, dan JAF4) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan musim. Hal ini ditunjukkan dengan melihat nilai *P value* < 0.05.

Dan untuk data konsentrasi pada tujuh stasiun pantau lainnya (SUF1, SUF3, SUF4, DKI1, DKI2, DKI4 dan DKI5) tidak memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan musim di Indonesia dengan melihat nilai *P value* > 0.05. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan musim di Indonesia masih memiliki pengaruh terhadap peningkatan konsentrasi NO₂ pada lapisan permukaan. Dari analisa ini juga didapatkan rata-rata konsentrasi NO₂ paling tinggi ada pada musim kemarau. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Rekapitulasi rata-rata nilai konsentrasi NO₂ pada setiap musim di Indonesia

Stasiun Pantau	2012		2013		2014		2015	
	Kemarau (ppm)	Hujan (ppm)	Kemarau (ppm)	Hujan (ppm)	Kemarau (ppm)	Hujan (ppm)	Kemarau (ppm)	Hujan (ppm)
SUF1	0.00634	0.00529		0.00173				
SUF3		0.04387		0.00126				
SUF4	0.00418	0.00888	0.00561					
SUF6	0.01277	0.01492	0.00722	0.00873	0.00651	0.00993	0.00462	0.00898
SUF7					0.02076	0.01583	0.00842	0.00422
DKI1	0.03231	0.02365	0.027382	0.026088	0.02440	0.02810		
DKI2	0.02103	0.02136	0.020785	0.023386	0.022811	0.024955		
DKI3	0.01447	0.00994	0.011813	0.009333	0.008988	0.009029		
DKI4	0.01912	0.01696	0.01568	0.01368	0.01357	0.013468		
DKI5			0.01786	0.01465	0.01227	0.01568		
JAF4	0.0200	0.0105						

Musim hujan
Musim kemarau

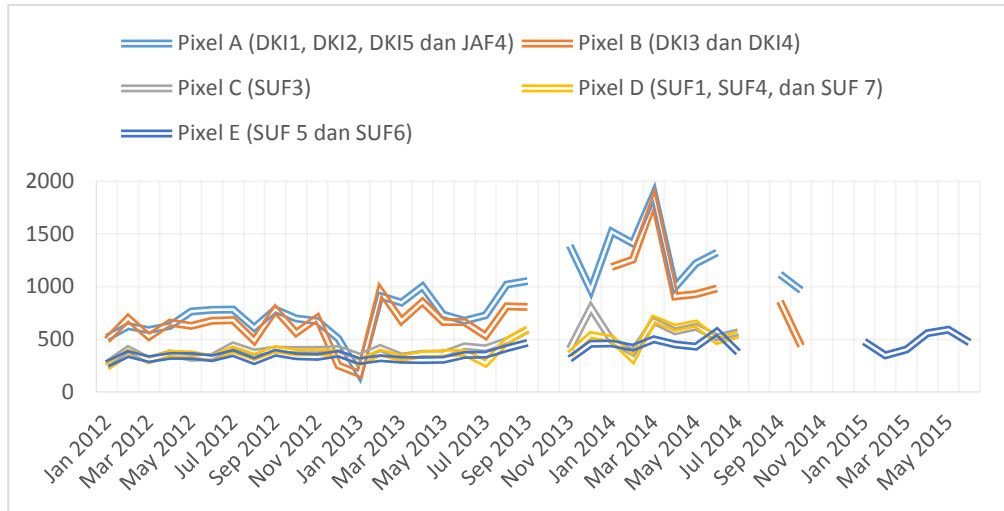
Rata-rata konsentrasi NO₂ terbesar terdapat pada musim kemarau. Hal ini menyimpulkan bahwa pada musim hujan, NO₂ tidak dapat terdispersi dengan baik. Sehingga tidak dapat terukur oleh sensor dari SPKU. Selain itu, menurut Hertel. O., *et al* (2011), NO₂ dapat dengan mudah bereaksi dengan air (H₂O) menjadi senyawa lain seperti asam nitrat (HNO₃) dan asam nitrit (HONO/HNO₂). Hal ini dapat dilihat pada persamaan berikut:



b. Analisa Pola Total Kolom NO₂ Terhadap Pengaruh Musim

Analisa data dari Satelit juga dilakukan untuk melihat pola peningkatan maupun penurunan nilai pixel atau total kolom NO₂. Data yang digunakan adalah data rekapitulasi dari Tabel 4.4 yang merupakan data total kolom NO₂ dari satelit GOME 2 MetOP-A. Tabel tersebut menunjukkan ada beberapa stasiun pantau yang memiliki nilai kolom NO₂ yang sama pada setiap periodenya, karena dalam 1 pixel mencakup beberapa stasiun

pantau. Hal tersebut telah dijelaskan dalam Subbab 4.2. Dari analisa ini akan diketahui pola nilai total kolom NO₂ dalam area pixel disetiap periode nya. Grafik total kolom NO₂ dalam satuan (10¹⁵ molecule/cm²) dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pola nilai total Kolom NO₂ (10¹⁵ molecule/cm²)

Pada Gambar 4.8, terjadi peningkatan dan penurunan secara fluktuatif setiap tahunnya. Pada tahun 2012, menunjukkan peningkatan nilai kolom NO₂ di titik tertinggi antara bulan Juli hingga Desember. Pada bulan Januari tahun 2013 terjadi penurunan nilai total kolom NO₂ di semua titik pixel dan menunjukkan peningkatan nilai total kolom pada titik tertinggi di bulan Juli hingga Desember. Pada Tahun 2014, terjadi peningkatan secara drastis di bulan Februari, dan penurunan secara drastis Maret hingga Mei.

Gambar 4.8 masih belum bisa dibuktikan adanya hubungan perbedaan musim di Indonesia dengan peningkatan total kolom NO₂, karena pola pada grafik tidak beraturan. sehingga perlu dilakukan uji anova searah tiap titik pixel. Uji anova dilakukan dengan merekapitulasi data total kolom NO₂ pada tiap pixel berdasarkan perbedaan musim kemarau dan musim hujan. Contoh rekapitulasi data nilai total kolom NO₂ pada titik pixel E (mencakup SUF 5 dan SUF 6) dapat dilihat pada Tabel 4.18. Rekapitulasi data dari titik pixel lainnya dapat dilihat pada *lampiran*.

Tabel 4.18 Rekapitulasi data total kolom NO₂ berdasarkan perubahan musim di pixel E

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Nilai Total Kolom NO2 (10 ¹⁵ molecule/cm2)			
2012	Juni	322	365	Desember
	Juli	371	268	Januari
	Agustus	294	362	Februari
	September	372	312	Maret
	Oktober	339	342	April
	Nopember	335	344	Mei
2013	Juni	351	458	Desember
	Juli	354	295	Januari
	Agustus	415	320	Februari
	September	466	306	Maret
	Oktober	-	302	April
	Nopember	316	306	Mei
2014	Juni	573	-	Desember
	Juli	377	460	Januari
	Agustus	-	422	Februari
	September	-	502	Maret
	Oktober	-	451	April
	Nopember	-	430	Mei
2015	Juni	471	-	Desember
	Juli	-	478	Januari
	Agustus	-	349	Februari
	September	-	402	Maret
	Oktober	-	559	April
	Nopember	-	593	Mei

Data pada Tabel 4.18 diuji menggunakan anova searah menggunakan aplikasi excel. Tujuan pengujian data menggunakan anova searah adalah untuk mencari *P value* (signifikasi) sehingga dapat membuktikan adanya hubungan antara perubahan musim di Indonesia dengan data total kolom NO₂ di titik pixel E. Hasil pengujian data dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil uji anova nilai total kolom NO₂ di pixel E berdasarkan perubahan musim di Indonesia

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	775.3088	1	775.3088	0.107803	0.744673	4.130018
Within Groups	244525.2	34	7191.919			

Pada Tabel 4.19, *P value* sebesar 0.744673. Dan jika nilai *P value* > 0.05, maka faktor musim tidak berpengaruh terhadap nilai total kolom NO₂ pada titik pixel E. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai total kolom NO₂ di titik pixel E tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan musim di Indonesia. Rekapitulasi hasil uji anova (pengambilan keputusan dengan *P value*) untuk data nilai total kolom NO₂ pada setiap stasiun pantau di kota Jakarta dan Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Rekapitulasi hasil uji anova nilai total kolom NO₂ di setiap pixel

Titik Pixel	Stasiun Pantau	α	P value	Status
A	DKI1, DKI5, dan JAF4	0.05	0.80937	Ditolak
B	DKI3 dan DKI4	0.05	0.28350	Ditolak
C	SUF3	0.05	0.64176	Ditolak
D	SUF1, SUF4, dan SUF7	0.05	0.60416	Ditolak
E	SUF5 dan SUF6	0.05	0.74467	Ditolak

Dari Tabel 4.20, terdapat 5 titik pixel (A, B, C, D, dan E) di kota Surabaya dan Jakarta yang masing-masing pixel mencakup beberapa stasiun pantau. Data total kolom NO₂ yang terdapat pada lima titik pixel tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan musim. Hal ini ditunjukkan dengan melihat nilai *P value* > 0.05. Sehingga peningkatan nilai total kolom NO₂ pada lapisan troposfer atas yang diukur menggunakan citra satelit GOME 2 MetOP-A tidak memiliki pengaruh sama sekali terhadap perubahan musim di Indonesia.

Hal tersebut dikarenakan ketinggian awan di perkotaan seperti Surabaya hanya mencapai ± 700 m diatas permukaan tanah (Sari N. K., et al, 2015). Sedangkan hasil scanning citra satelit GOME 2 ± 800 m diatas permukaan tanah (J Callies., et. Al, 2000). Selain itu pada kondisi berawan, satelit GOME 2 MetOP-A sangat sulit untuk membaca total kolom NO₂, karena kondisi berawan merupakan salah satu faktor error.

4.5 Analisa Pengaruh Perubahan Fungsi Lahan Terbuka Hijau (RTH) Terhadap Peningkatan Nilai Total Kolom NO₂

Analisa ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh luasan area RTH (per pixel pengukuran satelit GOME 2 MetOP-A) terhadap nilai total kolom NO₂ dari satelit GOME 2 MetOP-A. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Meixner (1994), tumbuhan hijau mampu menyerap NO₂ pada kondisi terang dan gelap. Semakin luas RTH dalam suatu area maka semakin kecil NO₂ ambien dalam area tersebut, sehingga analisa ini dapat dibuktikan dengan melihat pola grafik.

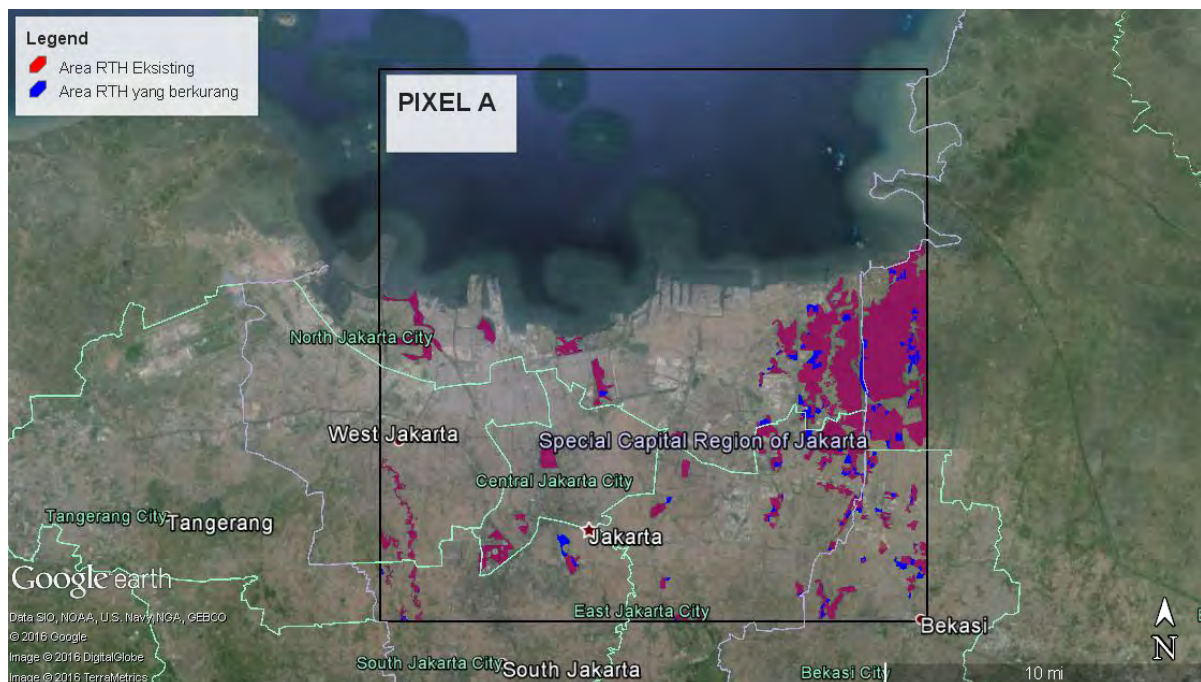
Analisa ini dilakukan dengan digitasi luas RTH per pixel pada aplikasi *google earth*. Terdapat 5 lokasi area pixel yakni pixel A, B, C, D, dan E yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Untuk cakupan area pixel dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Cakupan area pixel

Lokasi	Cakupan Wilayah
Pixel A	Jakarta Pusat, Jakarta Utara, Jakarta Timur, Jakarta Barat, Jakarta, Selatan, dan Bekasi
Pixel B	Jakarta Selatan, Jakarta Timur, Bekasi, Depok Bogor, dan Tangerang
Pixel C	Surabaya, Gresik, Bangkalan dan Lamongan
Pixel D	Surabaya, Gresik, Sidoarjo dan Mojokerto
Pixel E	Surabaya dan Sidoarjo

Digitasi area RTH dilakukan setiap tahun dari tahun 2012 hingga tahun 2015, sehingga dapat diketahui luasan area RTH yang berkurang setiap tahunnya. Contoh hasil digitasi pada pixel A dari tahun 2012 hingga 2015 dapat dilihat pada gambar 4.9. Hasil digitasi untuk setiap pixel nya terlampir pada *lampiran*.

Pada Gambar 4.9, pixel A memiliki luas area 765,2459 km². Hasil digitasi area RTH di bulan September 2012 adalah seluas 377,2126 km², sehingga Pixel A pada bulan September 2012 memiliki rasio area RTH sebesar 0,49. Di bulan Oktober 2016, luas area RTH pada pixel A mengalami penurunan hingga 1,45% yakni seluas 371,7132 km². Hasil rekapitulasi rasio luas area RTH per pixel dapat dilihat pada Tabel 4.19.



Gambar 4.9 Hasil Digitasi RTH pada Pixel A selama September 2012 hingga Oktober 2016

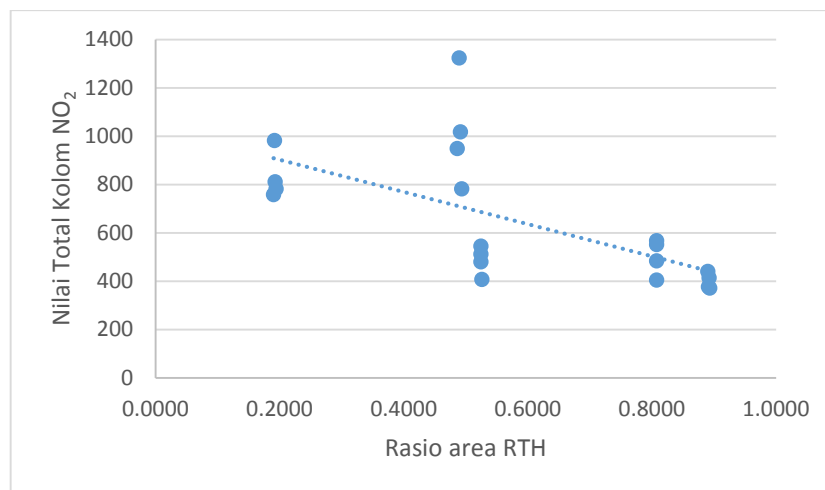
Pada Tabel 4.22, hampir di semua pixel mengalami penurunan rasio luas area RTH setiap tahunnya. Hal ini dapat membuktikan bahwa pada kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya terus melakukan pembangunan secara bertahap. Hal ini dapat menyebabkan NO_2 ambien yang dihasilkan semakin meningkat setiap tahunnya.

Tabel 4.22 Rekapitulasi rasio luas area RTH per pixel

Area	Waktu	Luas area RTH (km^2)	Luas Pixel (km^2)	Rasio	Total Kolom NO_2 (10^{15} molecule/ cm^2)
Pixel A	Sep-12	377.2126	765.2459	0.4929	783
	Aug-13	375.8724	765.2459	0.4912	1019
	Jul-14	374.2924	765.2459	0.4891	1324
	Oct-15	371.7132	765.2459	0.4857	949
Pixel B	Sep-12	148.5368	764.8892	0.1942	782
	Aug-13	147.0103	764.8892	0.1922	812
	Jul-14	146.4577	764.8892	0.1915	982
	Oct-15	145.2382	764.8892	0.1899	759
Pixel C	Sep-12	616.3168	763.5320	0.8072	405

	Aug-13	616.3168	763.5320	0.8072	485
	Jul-14	616.3168	763.5320	0.8072	568
	Oct-15	616.3168	763.5320	0.8072	552
Pixel D	Sep-12	401.1712	763.1187	0.5257	408
	Aug-13	399.9604	763.1187	0.5241	481
	Jul-14	399.9102	763.1187	0.5240	546
	Oct-15	399.8117	763.1187	0.5239	512
Pixel E	Sep-12	681.3648	763.3202	0.8926	372
	Aug-13	680.7811	763.3202	0.8919	415
	Jul-14	679.7880	763.3202	0.8906	377
	Oct-15	679.1234	763.3202	0.8897	441

Untuk membuktikan pengaruh peningkatan NO_2 setiap tahun, perlu dilakukan analisa dalam grafik terkait hubungan rasio penurunan area RTH terhadap total kolom NO_2 (dari satelit GOME 2 MetOP-A). Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik hubungan luas RTH terhadap nilai total kolom NO_2

Hubungan luas RTH terhadap nilai total kolom NO_2 menunjukkan pola yang menurun. Grafik tersebut menjelaskan bahwa semakin kecil rasio RTH, maka semakin tinggi nilai total kolom NO_2 . Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh antara perubahan fungsi lahan terbuka hijau (RTH) terhadap peningkatan nitrogen dioksida (NO_2) di lapisan troposfer. Hal ini dapat membuktikan bahwa tumbuhan

sangat berperan penting dalam penyerapan NO_2 . Nitrogen Dioksida (NO_2) diserap oleh tumbuhan dalam proses nitrifikasi. Menurut Seinfeld (1986), NO_2 berlebih di atmosfer bereaksi dengan ion hidroksida (OH^-) menjadi asam nitrat (HNO_3). Kemudian senyawa HNO_3 mengendap di permukaan tanah dan bereaksi dengan uap air (H_2O) menjadi nitrat (NO_3^-). Kemudian nitrat diserap oleh tanaman melalui akar maupun stomata daun (Chaparro-Suarez et al., 2011)

LAMPIRAN A

DATA PENELITIAN

A. Analisa Pola Konsentrasi NO₂ Terhadap Pengaruh Musim

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di SUF 1

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
		Konsentrasi (ppm)		
2012	Juni	0.00724	0.00954	Desember
	Juli	0.00825	0.00248	Januari
	Agustus	0.00615	0.00268	Februari
	September	0.00718	0.00656	Maret
	Oktober	0.00513	0.00613	April
	Nopember	0.00411	0.00434	Mei
2013	Juni			Desember
	Juli		0.00159	Januari
	Agustus		0.00183	Februari
	September		0.00177	Maret
	Oktober			April
	Nopember			Mei

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di SUF 1 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	6	0.038054969	0.006342	2.32556E-06
Column 2	9	0.036917358	0.004102	7.67041E-06

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1.81E-05	1	1.81E-05	3.218781221	0.096077	4.667193
Within Groups	7.3E-05	13	5.61E-06			
Total	9.11E-05	14				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di SUF 3

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Konsentrasi (ppm)			
2012	Juni		0.04648	Desember
	Juli			Januari
	Agustus		0.03886	Februari
	September		0.04434	Maret
	Oktober		0.04580	April
	Nopember			Mei
2013	Juni			Desember
	Juli		0.00346	Januari
	Agustus		0.00098	Februari
	September		0.00113	Maret
	Oktober		0.00072	April
	Nopember		0.00002	Mei

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di SUF 3 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Column 1	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
Column 2	9	0.181787248	0.020199	0.000509583

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0	1	0	0	1	5.591448
Within Groups	0.004077	7	0.000582			
Total	0.004077	8				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di SUF 4

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Konsentrasi (ppm)			
2012	Juni		0.00791	Desember
	Juli	0.00886		Januari
	Agustus	0.00397	0.02148	Februari

	September	0.00000	0.00795	Maret
	Oktober	0.00389	0.00498	April
	Nopember		0.00210	Mei
2013	Juni	0.00376		Desember
	Juli	0.00883		Januari
	Agustus	0.00327		Februari
	September	0.00657		Maret
	Oktober			April
	Nopember			Mei

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di SUF 4 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	8	0.039147	0.004893	9.11E-06
Column 2	5	0.044416	0.008883	5.54E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4.9E-05	1	4.9E-05	1.887302	0.196854	4.844336
Within Groups	0.000285	11	2.6E-05			
Total	0.000334	12				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di SUF 7

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Konsentrasi (ppm)			
2012	Juni		0.01492	Desember
	Juli			Januari
	Agustus			Februari
	September			Maret
	Oktober			April
	Nopember	0.01277		Mei
2013	Juni	0.01081		Desember
	Juli	0.00809	0.00993	Januari
	Agustus	0.00303	0.01138	Februari
	September	0.00674	0.01155	Maret

2014	Oktober	0.00618	0.00274	April
	Nopember	0.00847	0.00806	Mei
	Juni	0.00566	0.01135	Desember
	Juli	0.00534	0.00895	Januari
	Agustus	0.00592	0.01142	Februari
	September	0.00736	0.01060	Maret
2015	Oktober	0.00656	0.01067	April
	Nopember	0.00824	0.00660	Mei
	Juni	0.00462		Desember
	Juli		0.00965	Januari
	Agustus		0.01113	Februari
	September		0.00905	Maret
	Oktober		0.00998	April
	Nopember		0.00509	Mei

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di SUF 7 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	7	0.132961	0.01899442	2.47E-05
Column 2	11	0.116091	0.01055377	4.76E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.000305	1	0.00030477	7.803602	0.013015	4.493998
Within Groups	0.000625	16	3.9055E-05			
Total	0.00093	17				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di DKI 1

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Konsentrasi (ppm)			
2012	April	0.02997	0.03301	Oktober
	Mei	0.03042	0.03472	November
	Juni	0.02984	0.02283	Desember
	Juli	0.03787	0.01746	Januari

2013	Agustus	0.02987	0.01896	Februari
	September	0.03590	0.01493	Maret
	April	0.024895099	0.031877	Oktober
	Mei	0.02928831	0.027623	November
	Juni	0.027435534	0.024217	Desember
	Juli	0.029048015	0.020683	Januari
	Agustus	0.023267899	0.025071	Februari
2014	September	0.030357294	0.027056	Maret
	April	0.024395659		Oktober
	Mei			November
	Juni			Desember
	Juli		0.023232	Januari
	Agustus		0.027874	Februari
	September		0.033192	Maret

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di DKI 1 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	13	0.382559	0.02942765	1.7E-05
Column 2	15	0.382729	0.02551526	3.64E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.000107	1	0.0001066	3.883287	0.059504	4.225201
Within Groups	0.000714	26	2.7451E-05			
Total	0.00082	27				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di DKI 2

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
		Konsentrasi (ppm)		
2012	April	0.02178	0.02217	Oktober
	Mei	0.02096	0.02936	November
	Juni	0.01957	0.02040	Desember
	Juli	0.02494	0.01748	Januari
	Agustus	0.01825	0.02148	Februari

2013	September	0.02065	0.01730	Maret
	April	0.02025154	0.026569	Oktober
	Mei	0.02242155	0.027697	November
	Juni	0.0216667	0.024127	Desember
	Juli	0.02097881	0.017777	Januari
	Agustus	0.01685951	0.021271	Februari
2014	September	0.0225309	0.022877	Maret
	April	0.02281092		Oktober
	Mei			November
	Juni			Desember
	Juli		0.020526	Januari
	Agustus		0.025757	Februari
	September		0.028581	Maret

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di DKI 2 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	13	0.273681	0.021052	4.3E-06
Column 2	15	0.343368	0.022891	1.6E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2.35E-05	1	2.35E-05	2.219499	0.148309	4.225201
Within Groups	0.000276	26	1.06E-05			
Total	0.000299	27				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di DKI 3

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Konsentrasi (ppm)			
2012	April	0.01420	0.01294	Oktober
	Mei	0.01488	0.01302	November
	Juni	0.01605	0.00887	Desember
	Juli	0.01517	0.00633	Januari
	Agustus	0.01243	0.01132	Februari
	September	0.01408	0.00715	Maret

2013	April	0.011002	0.011857	Oktober
	Mei	0.012557	0.010051	November
	Juni	0.012074	0.0087	Desember
	Juli	0.013067	0.006878	Januari
	Agustus	0.011096	0.009017	Februari
	September	0.011079	0.009498	Maret
	September			
2014	April	0.008988		Oktober
	Mei			November
	Juni			Desember
	Juli		0.005469	Januari
	Agustus		0.008623	Februari
	September		0.012993	Maret
	September			

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di DKI 3 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	13	0.166677	0.012821	4.05E-06
Column 2	15	0.142723	0.009515	6.16E-06

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	7.61E-05	1	7.61E-05	14.67989	0.000725	4.225201
Within Groups	0.000135	26	5.19E-06			
Total	0.000211	27				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di DKI 4

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
		Konsentrasi (ppm)		
2012	April	0.01853	0.01830	Oktober
	Mei	0.01958	0.02215	November
	Juni	0.01878	0.01531	Desember
	Juli	0.02017	0.01206	Januari
	Agustus	0.01602	0.02003	Februari
	September	0.02168	0.01389	Maret
2013	April	0.01459	0.01479	Oktober

	Mei	0.01692	0.01280	November
	Juni	0.01642	0.01107	Desember
	Juli	0.01692	0.01281	Januari
	Agustus	0.01385	0.01524	Februari
	September	0.01540	0.01538	Maret
2014	April	0.01357		Oktober
	Mei			November
	Juni			Desember
	Juli		0.00899	Januari
	Agustus		0.01163	Februari
	September		0.01978	Maret

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di DKI 4 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	13	0.222428	0.01711	6.27E-06
Column 2	15	0.224229	0.014949	1.38E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	3.25E-05	1	3.25E-05	3.154821	0.087409	4.225201
Within Groups	0.000268	26	1.03E-05			
Total	0.000301	27				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di DKI 5

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Konsentrasi (ppm)			
2012	April			Oktober
	Mei			November
	Juni			Desember
	Juli			Januari
	Agustus			Februari
	September			Maret
2013	April	0.01730	0.01777	Oktober
	Mei	0.01899	0.01676	November

	Juni	0.01770	0.01141	Desember
	Juli	0.02067	0.01193	Januari
	Agustus	0.01587	0.01413	Februari
	September	0.01664	0.01589	Maret
2014	April	0.01227		Oktober
	Mei			November
	Juni			Desember
	Juli		0.01237	Januari
	Agustus		0.01634	Februari
	September		0.01832	Maret

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di DKI 5 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	7	0.119427	0.017061	6.95E-06
Column 2	9	0.134937	0.014993	6.8E-06

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1.68E-05	1	1.68E-05	2.452696	0.139642	4.60011
Within Groups	9.61E-05	14	6.87E-06			
Total	0.000113	15				

- Rekapitulasi data konsentrasi NO₂ berdasarkan musim di JAF 4

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Konsentrasi (ppm)			
2012	April	0.0195	0.0202	Oktober
	Mei	0.0218	0.0157	November
	Juni	0.0217	0.0048	Desember
	Juli	0.0201	0.0026	Januari
	Agustus	0.0181	0.0092	Februari
	September	0.0187		Maret

- Hasil uji anova konsentrasi NO₂ di JAF 4 berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	6	0.119873	0.019979	2.34E-06
Column 2	5	0.052477	0.010495	5.43E-05

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.000245	1	0.000245	9.639431	0.012625	5.117355
Within Groups	0.000229	9	2.54E-05			
Total	0.000474	10				

B. Analisa Pola Total Kolom NO₂ Terhadap Pengaruh Musim

- Rekapitulasi data total kolom NO₂ berdasarkan perubahan musim di pixel A

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Nilai Total Kolom NO2 (10 ¹⁵ molecule/ cm ²)			
2012	April	765	674	Oktober
	Mei	781	507	November
	Juni	783	515	Desember
	Juli	610	624	Januari
	Agustus	783	590	Februari
	September	697	629	Maret
2013	April	733	1389	Oktober
	Mei	678	969	November
	Juni	727	170	Desember
	Juli	1019	910	Januari
	Agustus	1052	849	Februari
	September		1001	Maret
2014	April	1220		Oktober
	Mei	1324		November
	Juni		1522	Desember
	Juli		1412	Januari
	Agustus	1116	1879	Februari
	September	966	995	Maret

- Hasil uji anova nilai total kolom NO₂ di pixel A berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	15	13254	883.6	47042.4
Column 2	16	14635	914.6875	200146.2

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	7482.059	1	7482.059	0.059271	0.809365	4.182964
Within Groups	3660787	29	126234			
Total	3668269	30				

- Rekapitulasi data total kolom NO₂ berdasarkan perubahan musim di pixel B

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Nilai Total Kolom NO2			
	(10 ¹⁵ molecule/ cm ²)			
2012	April	629	705	Oktober
	Mei	678	252	November
	Juni	682	496	Desember
	Juli	487	700	Januari
	Agustus	782	524	Februari
	September	562	658	Maret
2013	April	666	1283	Oktober
	Mei	666		November
	Juni	535	172	Desember
	Juli	812	962	Januari
	Agustus	806	676	Februari
	September		857	Maret
2014	April	929		Oktober
	Mei	982		November
	Juni		1186	Desember
	Juli		1256	Januari
	Agustus	863	1814	Februari
	September	436	909	Maret

- Hasil uji anova nilai total kolom NO₂ di pixel B berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Column 1	15	10515	701	25608.43		
Column 2	15	12450	830	183152.6		
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	124807.5	1	124807.5	1.195697	0.283502	4.195972
Within Groups	2922654	28	104380.5			
Total	3047462	29				

- Rekapitulasi data total kolom NO₂ berdasarkan perubahan musim di pixel C

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Nilai Total Kolom NO2			
	(10 ¹⁵ molecule/ cm ²)			
2012	Juni	335	409	Oktober
	Juli	442	268	November
	Agustus	375	408	Desember
	September	405	304	Januari
	Oktober	399	367	Februari
	Nopember	401	325	Maret
2013	Juni	433	799	Oktober
	Juli	417	336	November
	Agustus	485	418	Desember
	September	591	336	Januari
	Oktober	0	363	Februari
	Nopember	411	361	Maret
2014	Juni	518		Oktober
	Juli	568	492	November
	Agustus		376	Desember
	September		674	Januari
	Oktober		577	Februari
	Nopember		619	Maret

- Hasil uji anova nilai total kolom NO₂ di pixel C berdasarkan perubahan musim di Indonesia

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	14	5780	412.8571	19359.978
Column 2	17	7432	437.1765	21501.0294

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4540.654	1	4540.654	0.22105054	0.641757	4.182964
Within Groups	595696.2	29	20541.25			
Total	600236.8	30				

- Rekapitulasi data total kolom NO₂ berdasarkan perubahan musim di pixel D

Tahun	Musim Kemarau		Musim Hujan	
	Nilai Total Kolom NO2			
	(10 ¹⁵ molecule/cm ²)			
2012	Juni	322	366	Desember
	Juli	405	238	Januari
	Agustus	335	372	Februari
	September	408	307	Maret
	Oktober	377	365	April
	Nopember	378	357	Mei
2013	Juni	372	541	Desember
	Juli	272	285	Januari
	Agustus	481	374	Februari
	September	597	324	Maret
	Oktober		357	April
	Nopember	358	370	Mei
2014	Juni	485		Desember
	Juli	546	507	Januari
	Agustus		316	Februari
	September		691	Maret
	Oktober		611	April
	Nopember		648	Mei
2015	Juni	546		Desember
	Juli		515	Januari

Agustus	347	Februari
September	493	Maret
Oktober	683	April
Nopember	678	Mei

- Hasil uji anova nilai total kolom NO₂ di pixel D berdasarkan perubahan musim di Indonesia

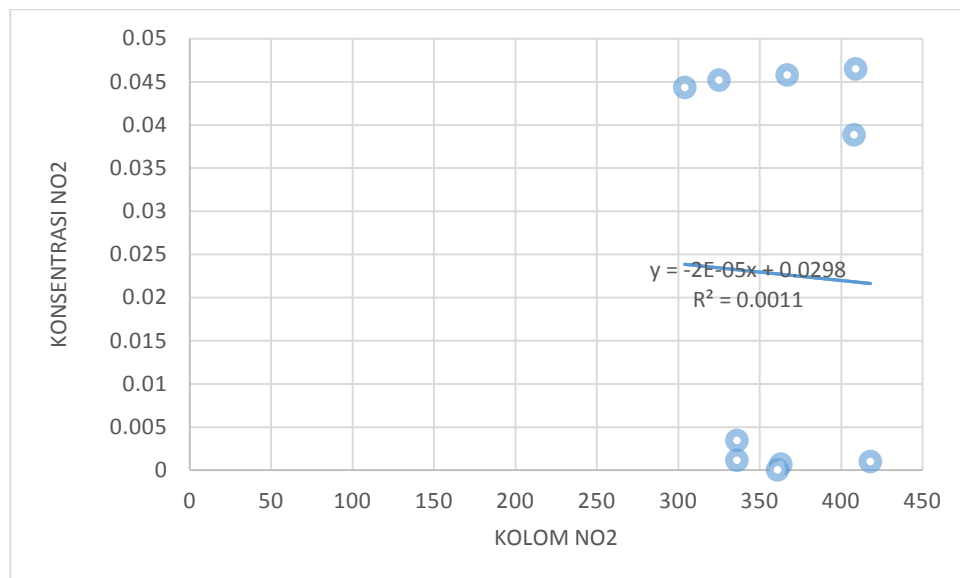
SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Column 1	14	5882	420.1429	9222.28571
Column 2	22	9745	442.9545	20613.7597

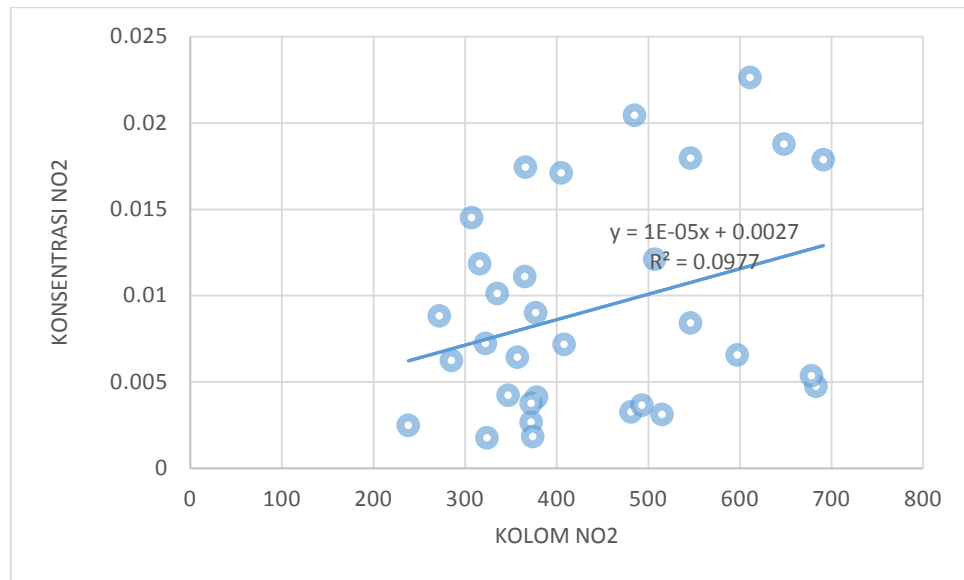
ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4452.081	1	4452.081	0.27383611	0.604164	4.130018
Within Groups	552778.7	34	16258.2			
Total	557230.8	35				

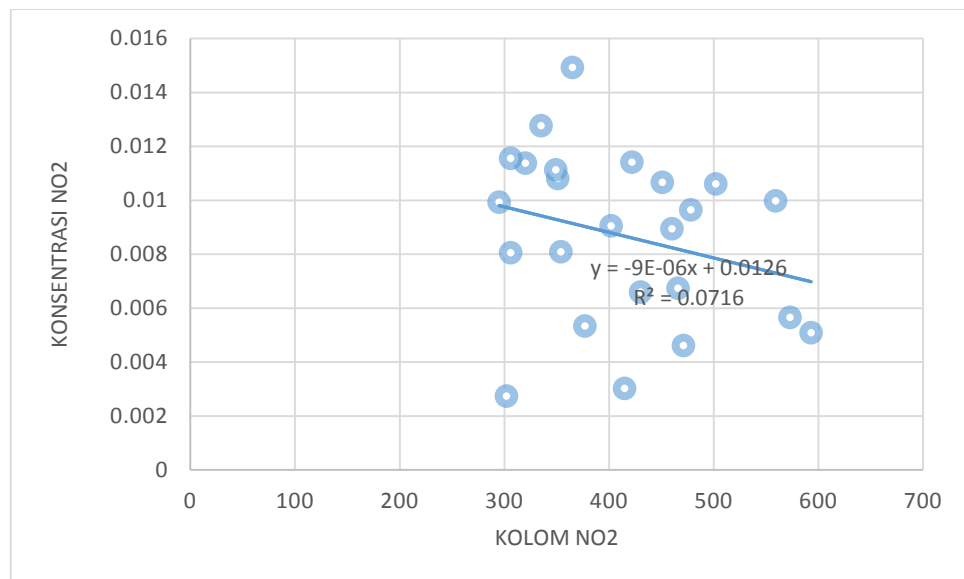
- Grafik Model Regresi Pixel C



- Grafik Model Regresi Pixel D



- Grafik Model Regresi Pixel E



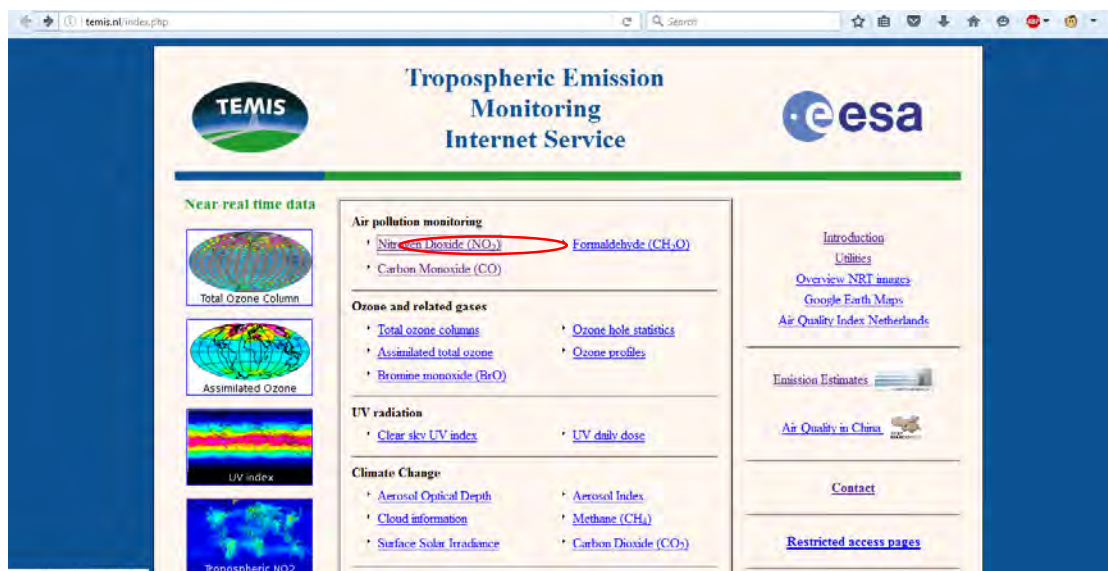
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

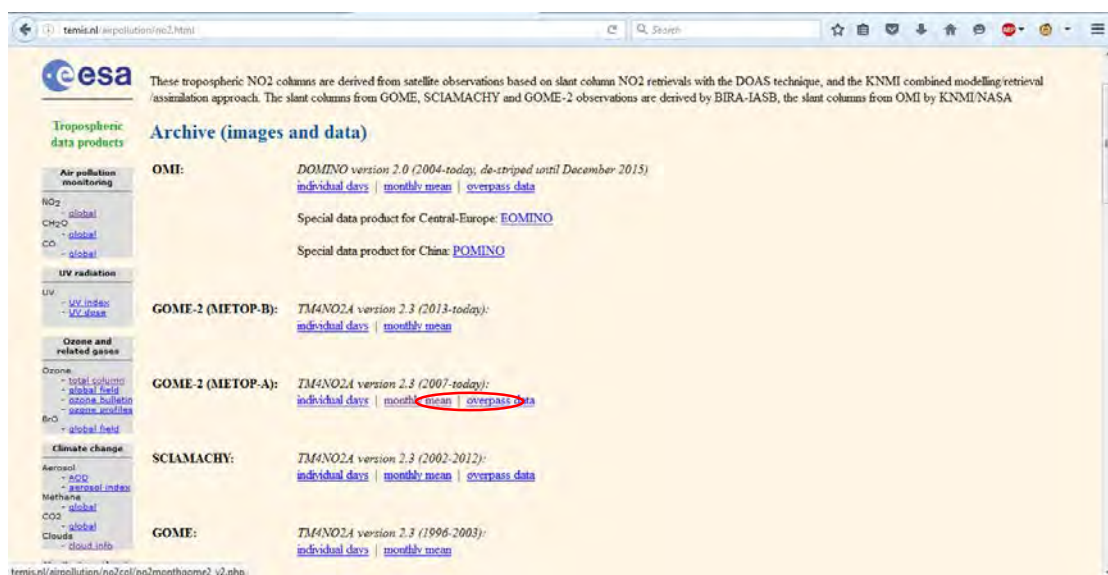
PROSEDUR PENELITIAN

A. Mengunduh data NO₂ citra satelit GOME 2 MetOP-A

1. Ketik www.temis.nl pada page browser
2. Pada kolom *Air Pollution Monitoring*, klik *Nitrogen Monoxide (NO₂)*



3. Klik *monthly mean* pada *Gome 2 MetOp-A*



4. Tentukan Tahun dan Bulan pada kolom *global monthly mean*

temis.nl/airpollution/no2col/no2monthgome2_v2.php

Total and Tropospheric NO2 columns from GOME-2 (METOP-A)

archive: [individual days](#) | global monthly mean

global monthly mean

Year: 2012
Month: January

submit

individual days

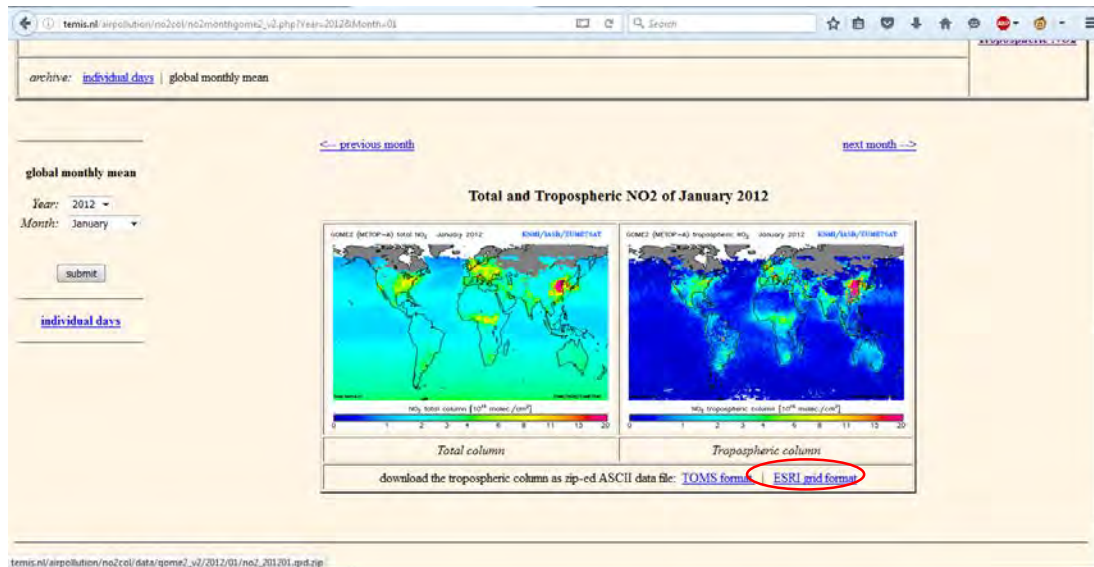
Access the archive of Total and Tropospheric NO2 columns based on GOME-2 measurements by selecting a month in the menu on the left.

Two images will appear here: one for the total NO2 column and one for the tropospheric NO2 column of the monthly mean. The data of the tropospheric column is also given as ASCII file.

Data is available between January 2007 and June 2016.

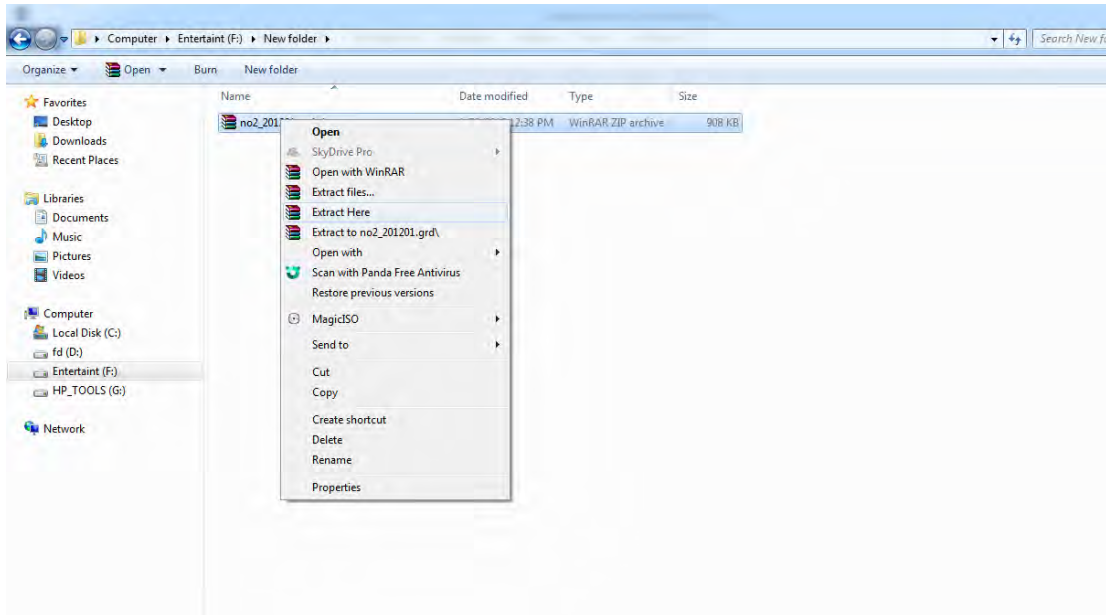
last modified: 26 May 2011
Copyright © KNMI / TEMIS

5. Pilih *Esri* Grid *Format*, kemudian *download*

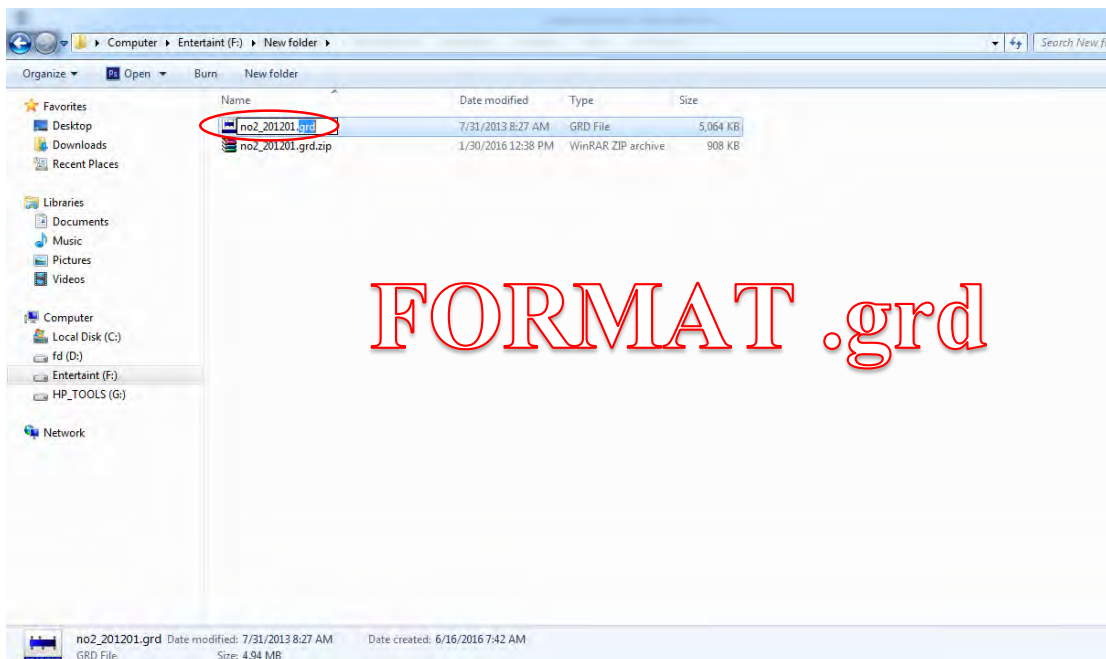


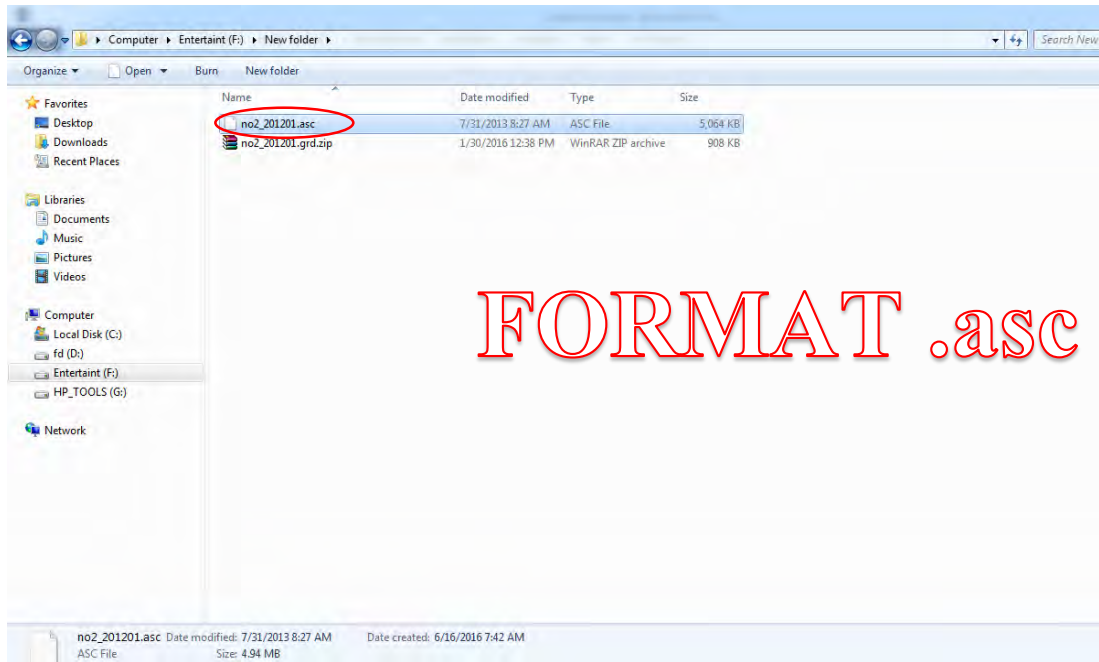
B. Konversi GRID format ke dalam ASCII format

1. Extract file total kolom NO₂ dalam bentuk rar hasil unduhan dari www.temis.nl



2. Rename file dengan format **.grd** menjadi format **.asc**

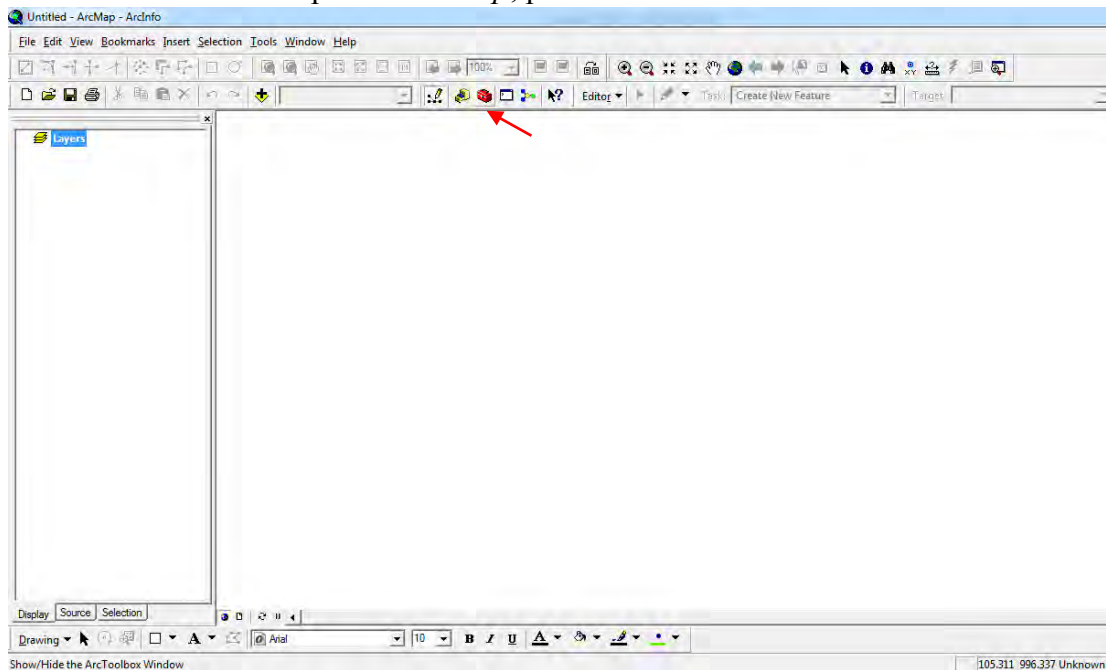




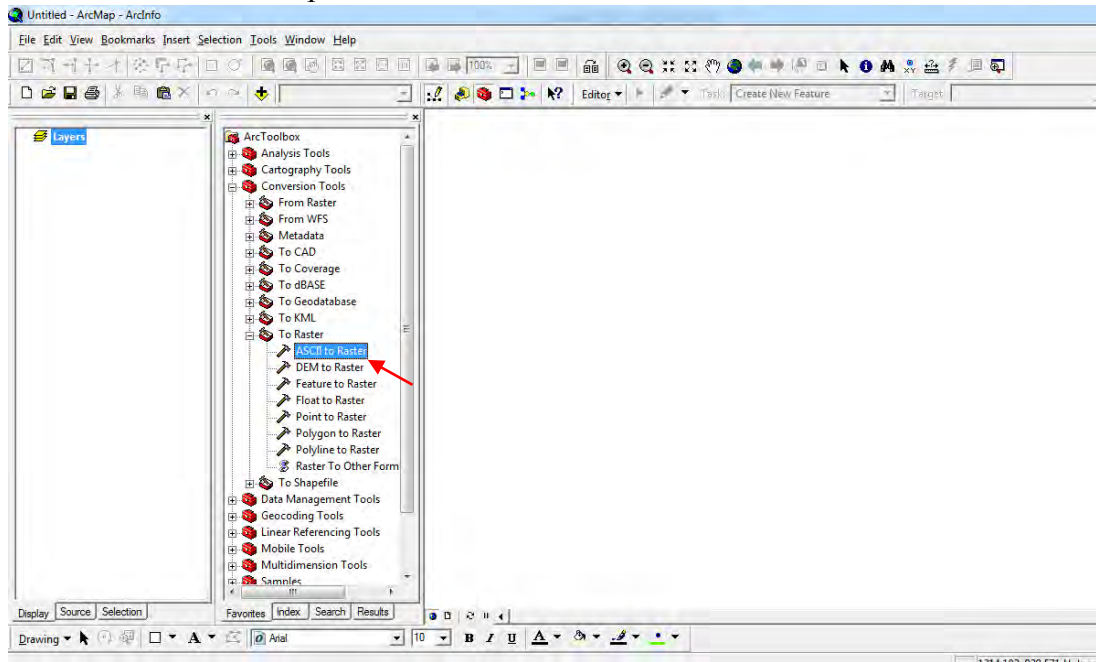
3. Buka aplikasi *ArcGIS* untuk membaca data *.asc* format

C. Input data ASCII ke dalam aplikasi *ArcGis*

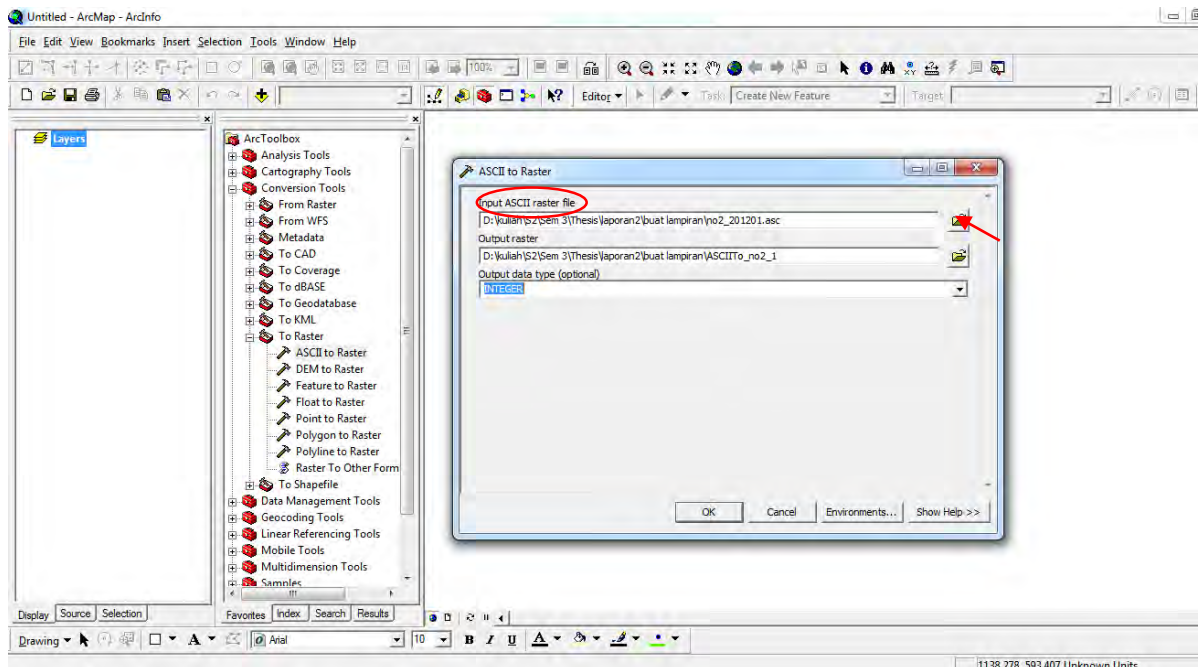
1. Pada lembar baru aplikasi *ArcMap*, pilih icon *show/hide Arc Toolbox Window*



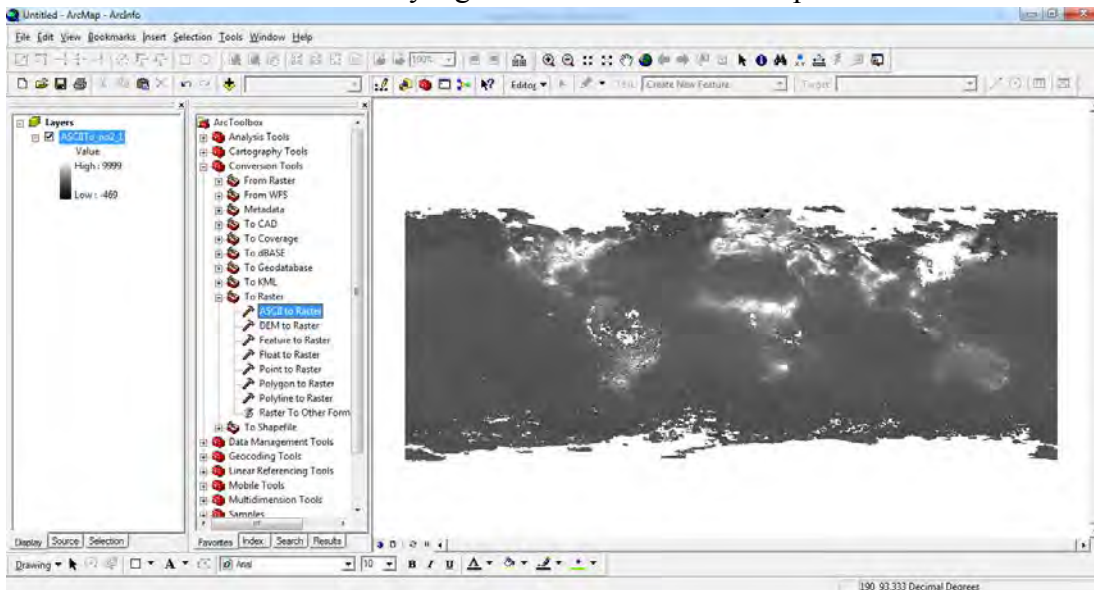
2. Pada Arc Toolbox pilih *conversion tool > to raster > ASCII to raster*



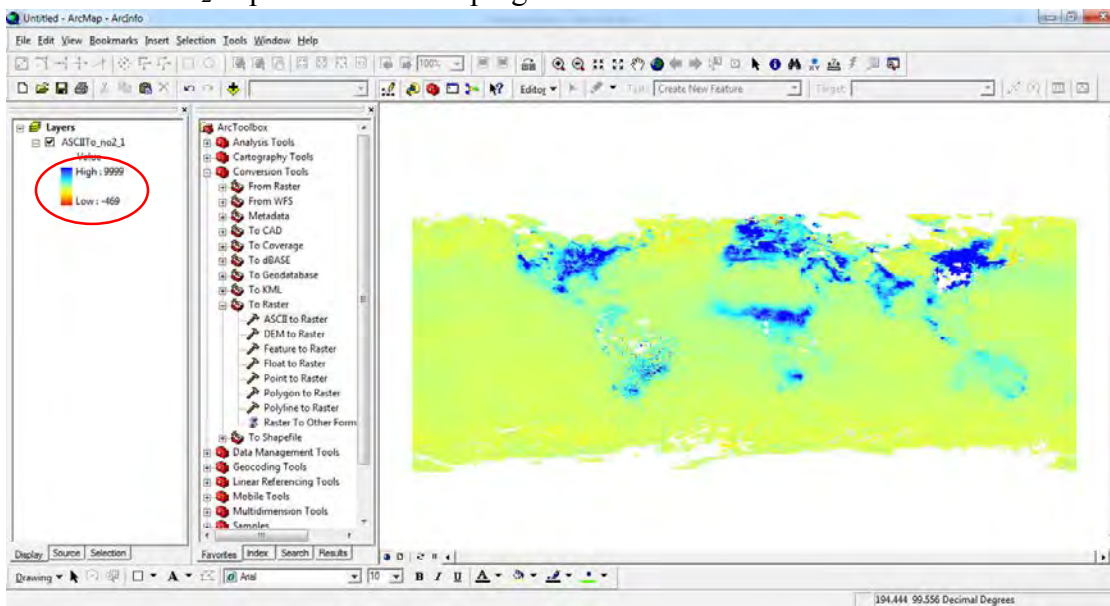
3. Input file dengan format *.asc* ke dalam kolom *input ASCII raster file* kemudian klik *ok*



4. Berikut contoh tampilan hasil scanning NO₂ di seluruh permukaan bumi oleh satelit GOME 2 MetOP-A yang telah diolah oleh KNMI pada bulan Januari 2012

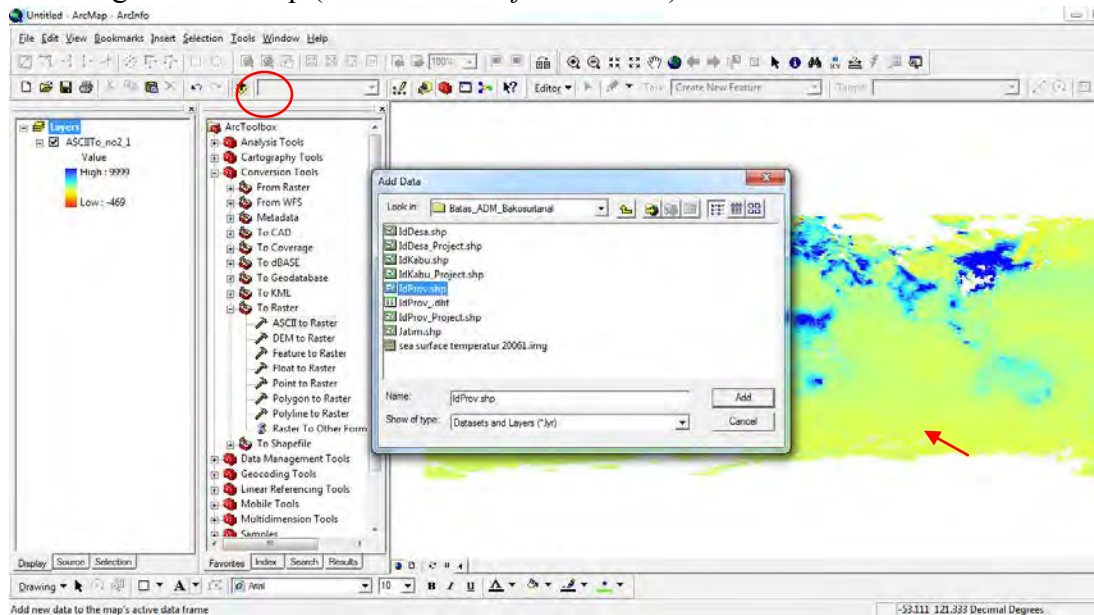


5. Setting intensitas warna pada layer sesuai warna yang diinginkan. Range total kolom NO₂ dapat dilihat di samping kolom warna.

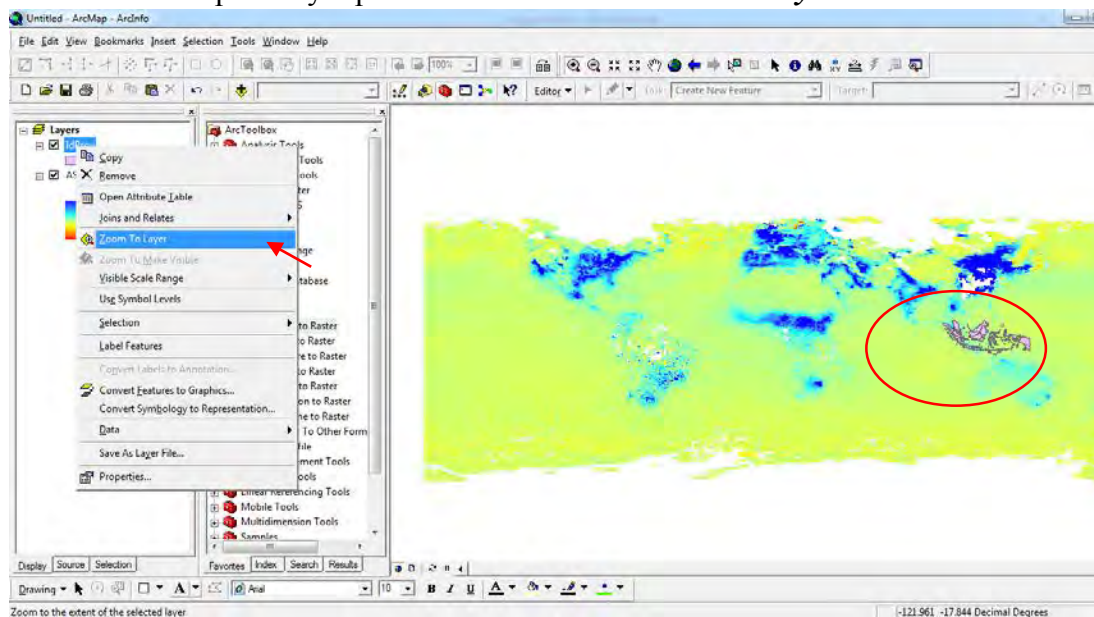


D. Input data layer peta Indonesia

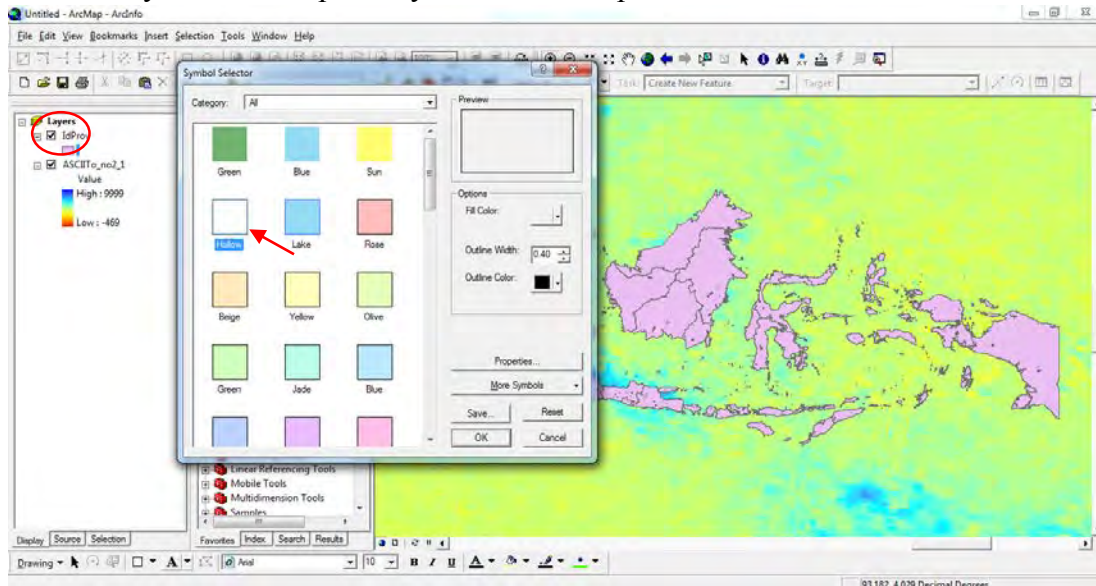
1. Klik icon **add data** kemudian browse file peta Indonesia dengan format (.shp). Peta Indonesia dengan format .shp diunduh dari *web*. Terdapat banyak peta Indonesia dengan format shp (tersedia dalam *free content*). Klik **add**.



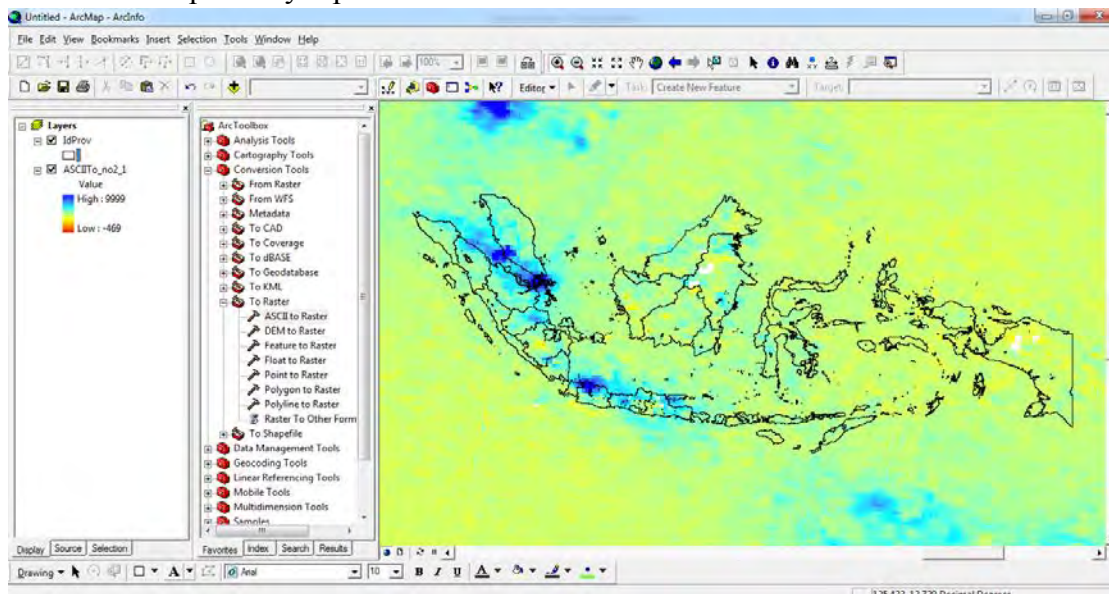
2. Klik kanan pada layer peta Indonesia > klik **Zoom To Layer**



3. Klik symbol warna pada layer Indonesia > pilih **Hollow** > klik **Ok**

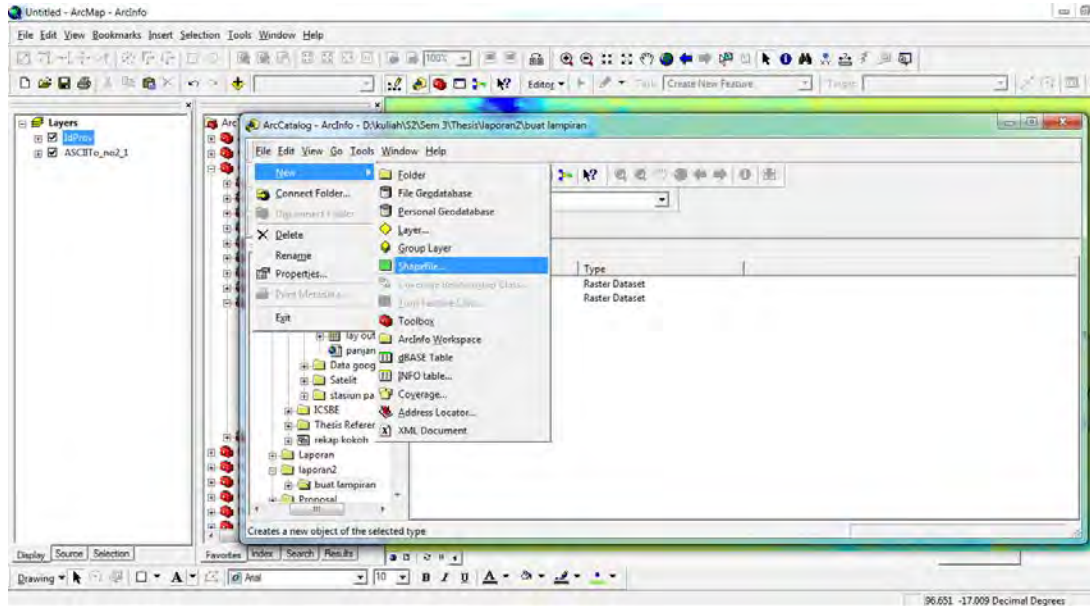


4. Hasil tampilan layer peta Indonesia

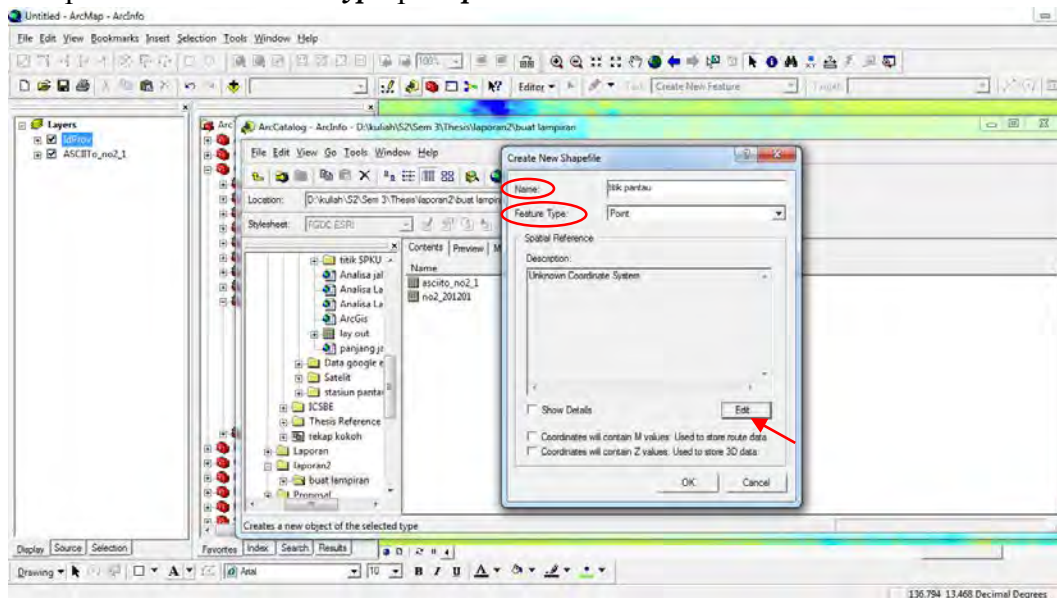


E. Menentukan titik pemantauan

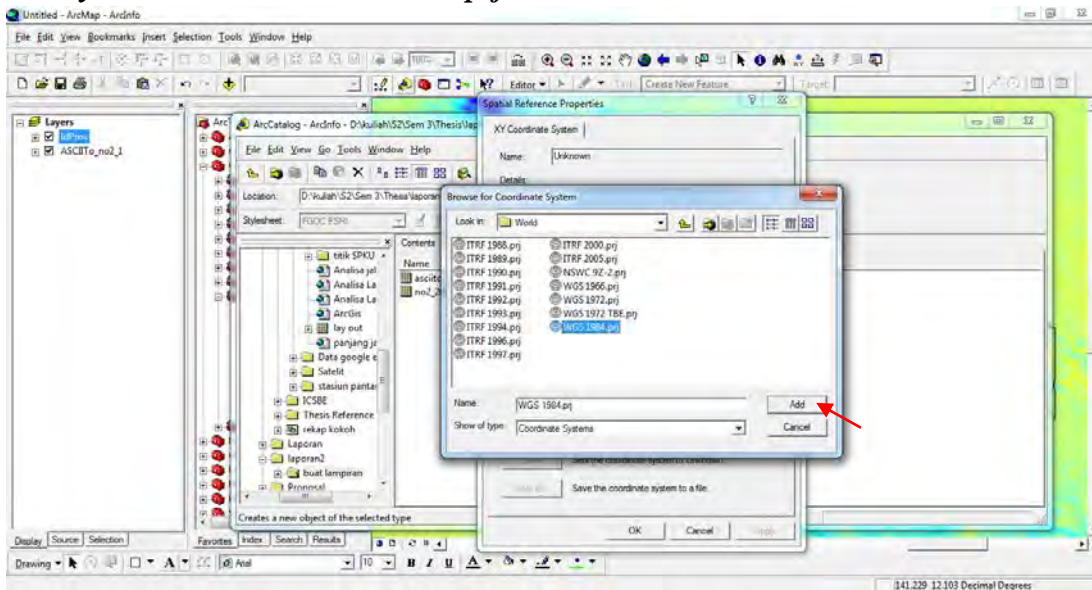
1. Buat layer baru pada icon *arc catalog* > klik *file* > *New* > klik *shape file*



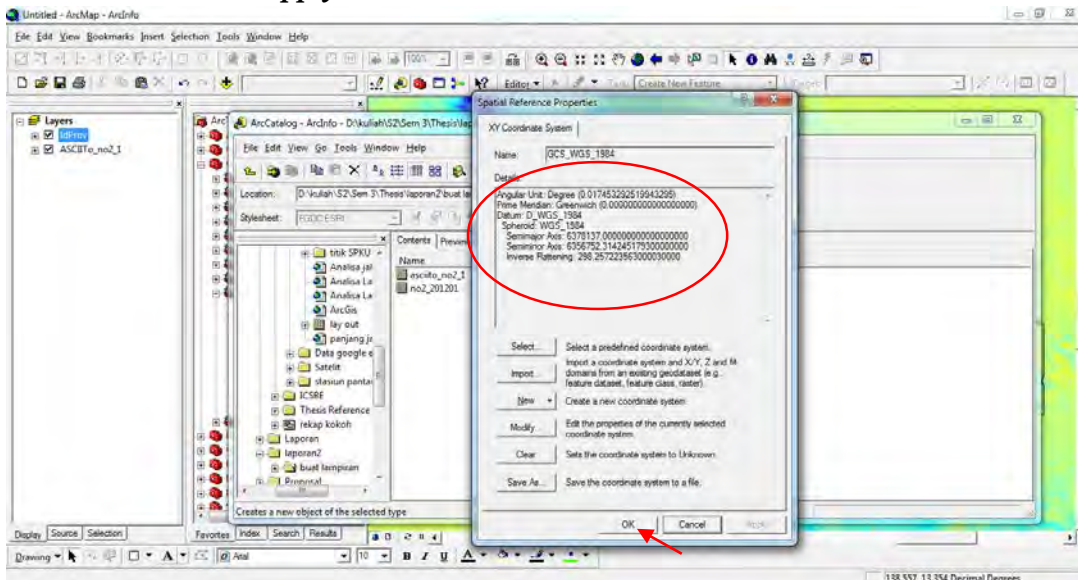
2. Tentukan nama layer pada kolom *Name* (penulis memberi nama “titik pantau”) > pada kolom *Feature type* pilih *point*



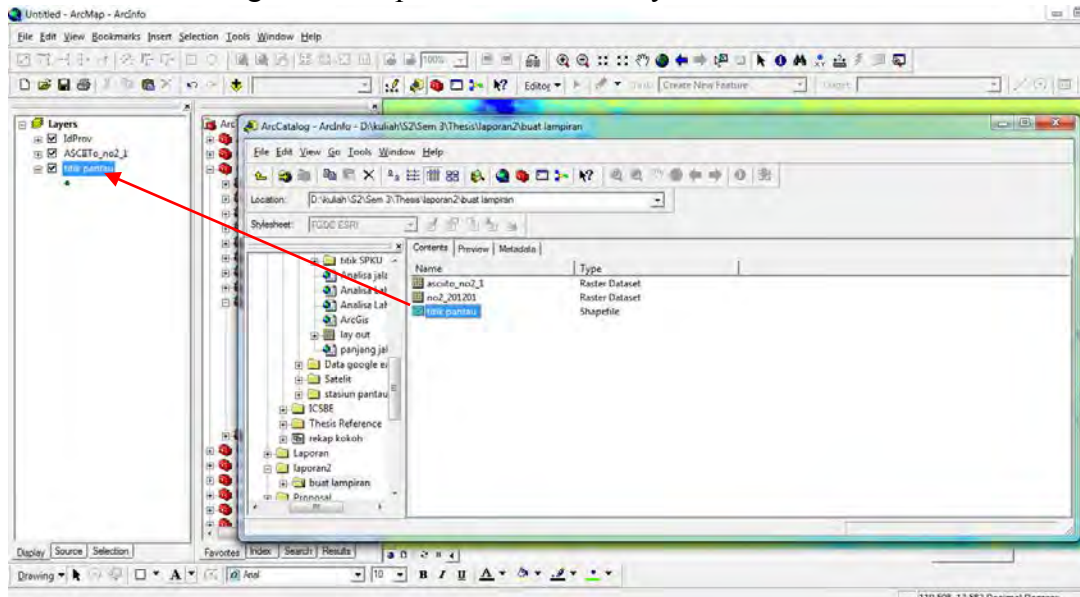
3. Untuk menentukan system koordinat, pilih **Edit > select > Geographic Coordinate Systems > World > WGS 1984.prj > klik Add**



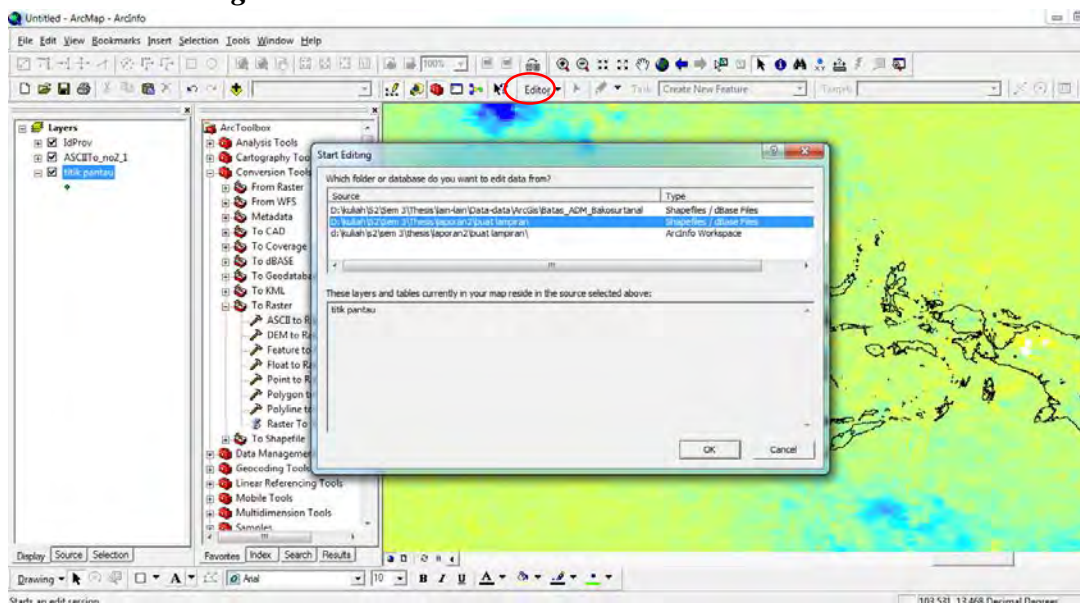
4. Kemudian klik **Apply > klik OK**



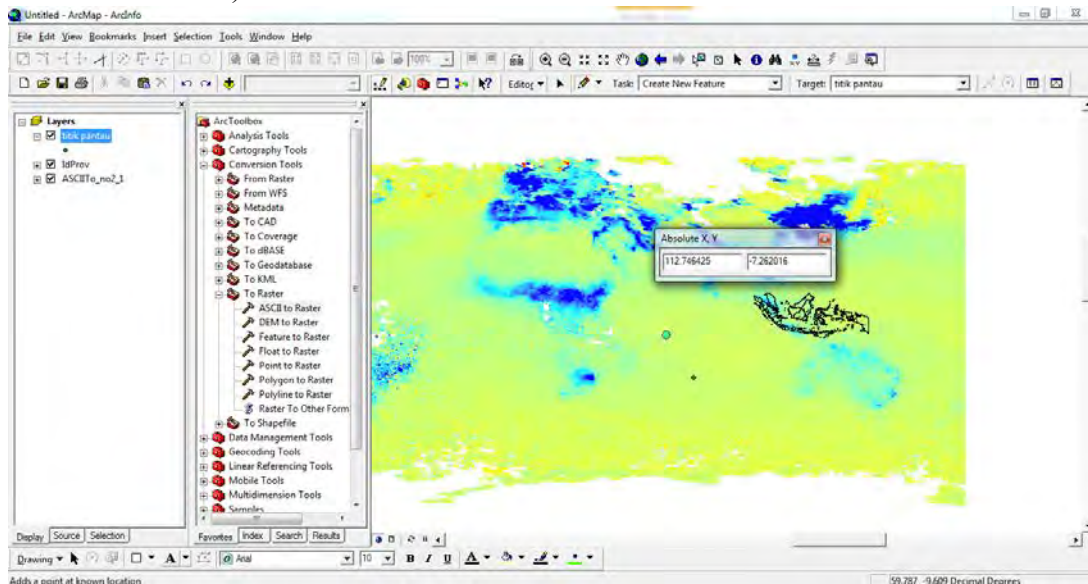
5. Kemudian drag file “titik pantau” ke dalam layer



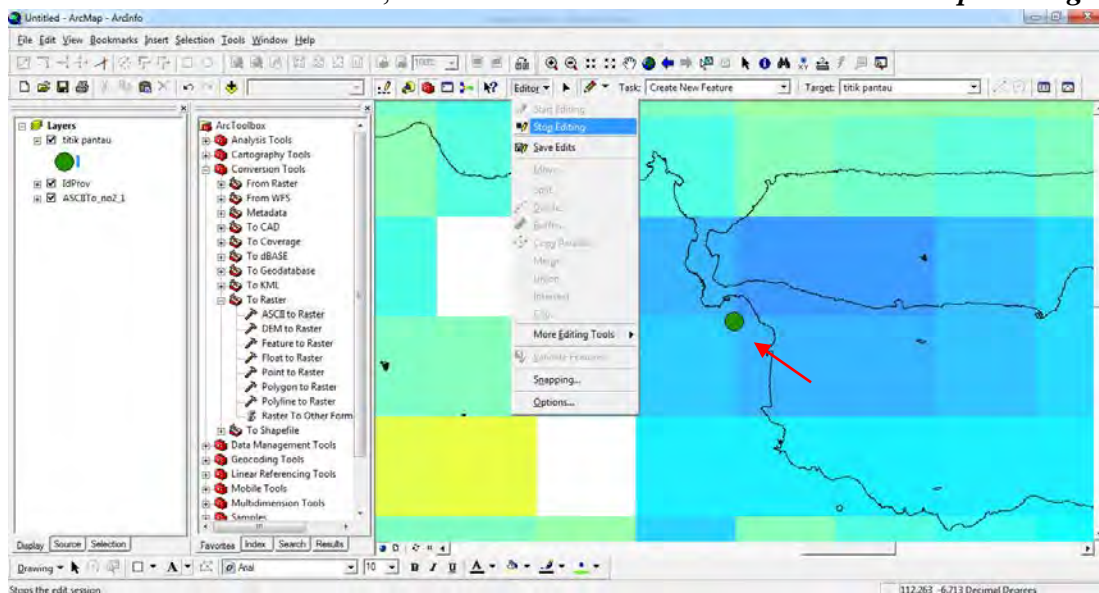
6. Klik icon *editor* > pilih *start editing* > pilih layer titik pantau (format tipe *shp file*) > *start editing*



7. Klik icon *sketch* > klik kanan pada gambar peta > pilih *absolute X,Y* > masukkan koordinat (sebagai contoh koordinat titik SPKU di Surabaya “-7.262016, 112.746425”)

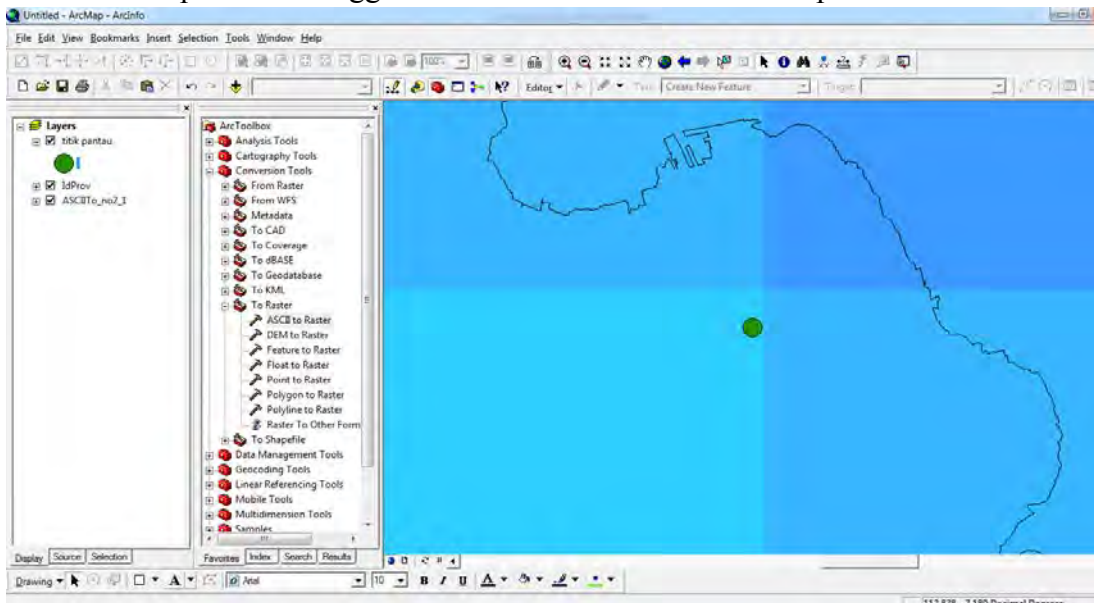


8. Zoom in ke titik tersebut, kemudian klik icon *editor* > *save edits* > *stop editing*

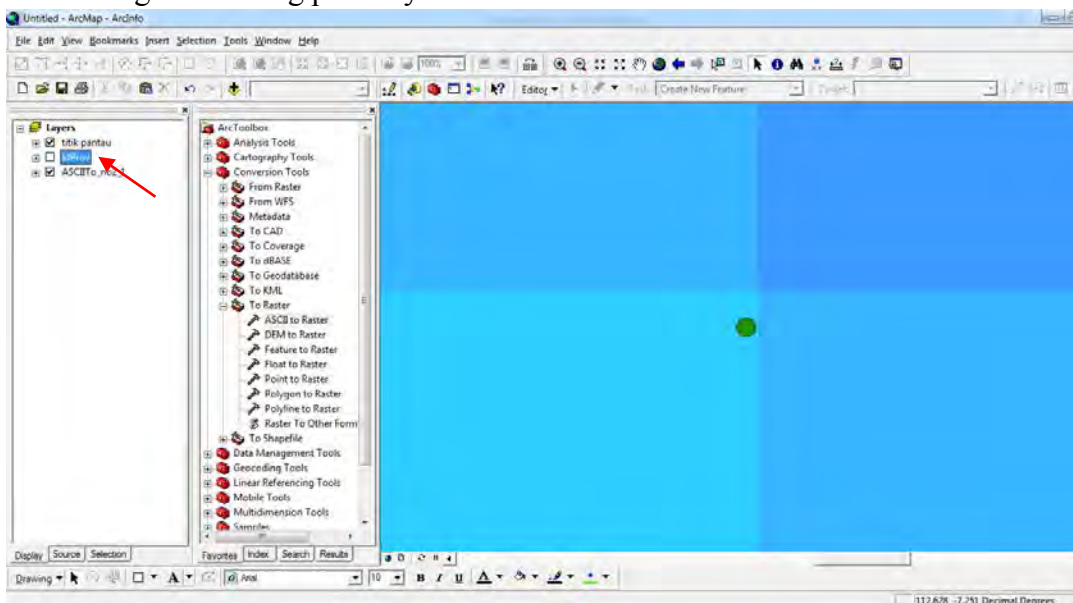


F. Identifikasi total kolom NO₂

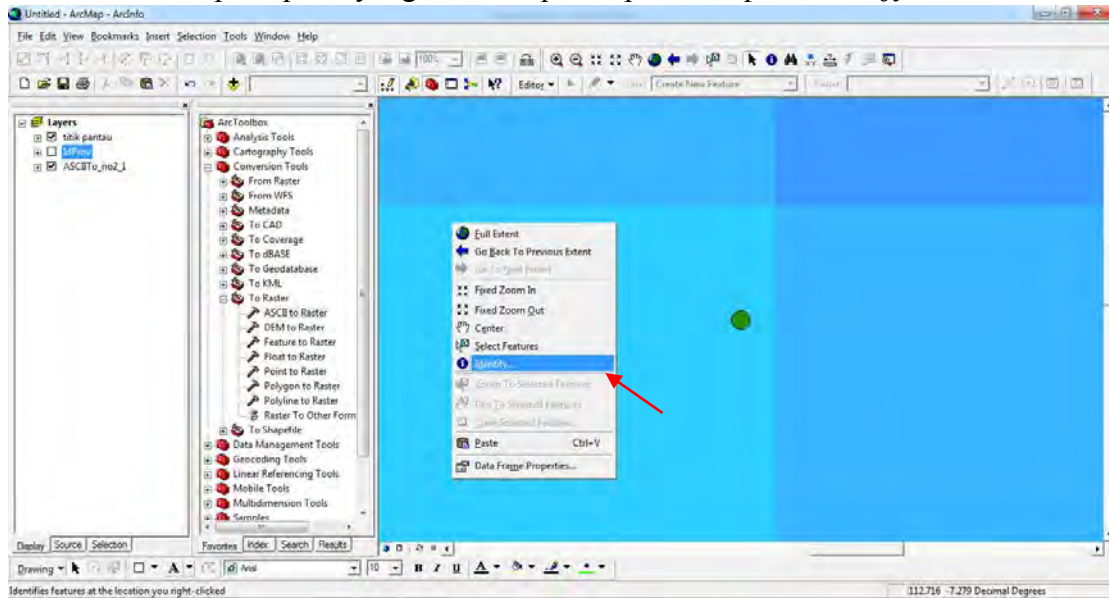
1. Zoom in pada titik hingga terlihat titik berada dalam suatu pixel



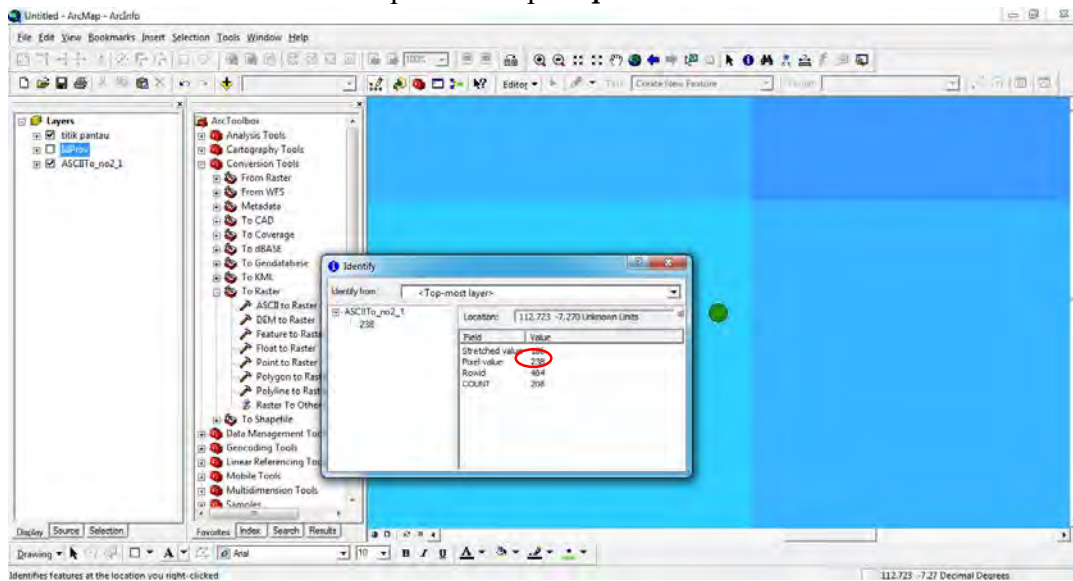
2. Hilangkan centang pada layer Peta Indonesia



3. Klik kanan pada pixel yang mencakup titik pantau > pilih *identify*

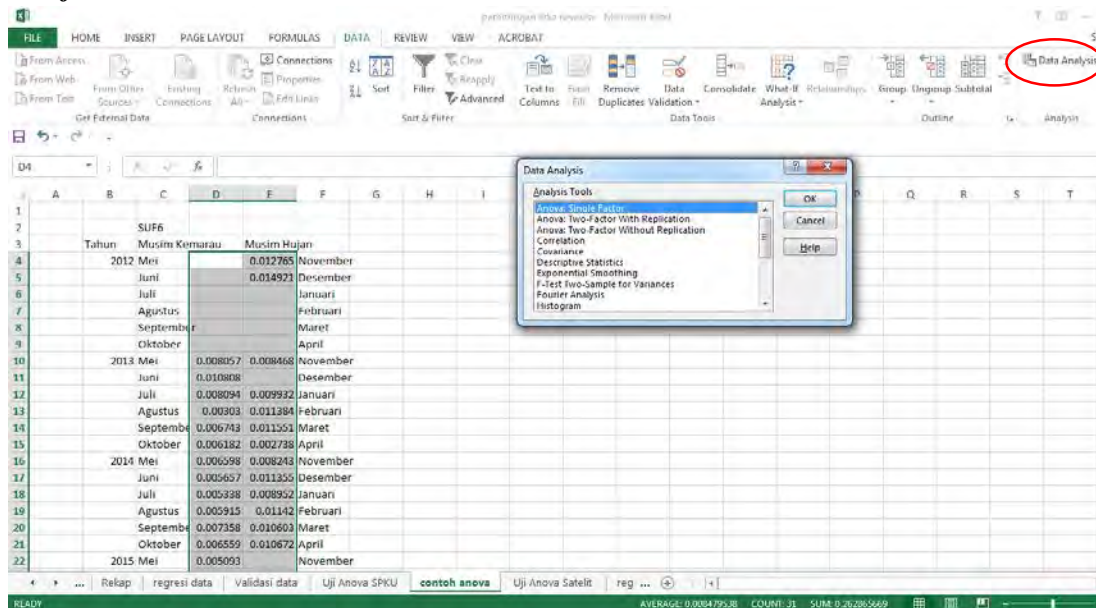


4. Nilai total kolom NO₂ dapat dilihat pada *pixel value*

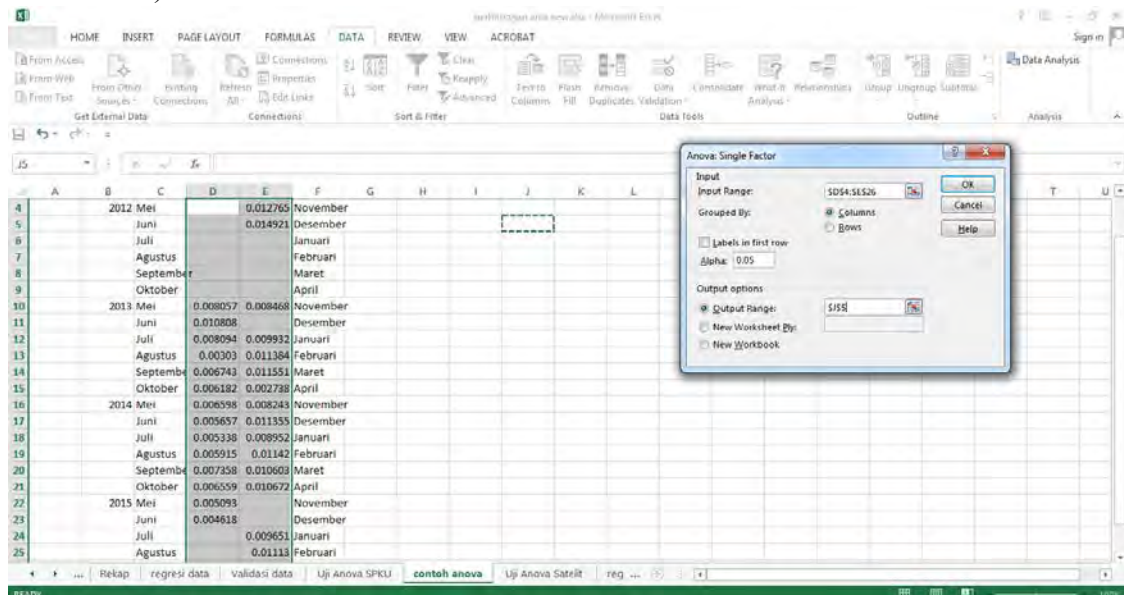


G. Anova searah (*One Way Anova*) menggunakan Excel

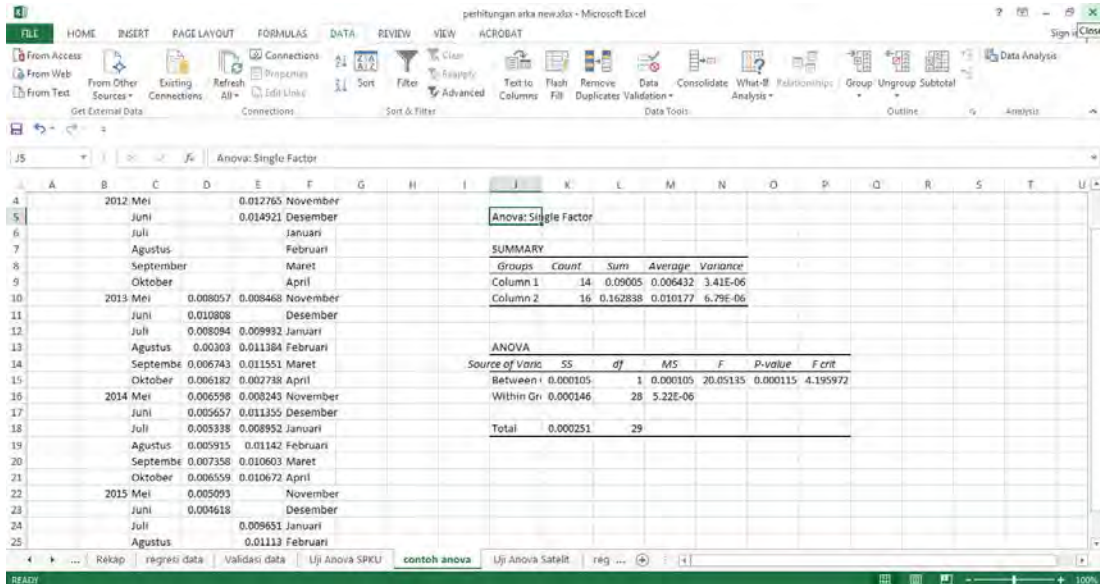
1. Buka microsoft excel, kemudian blok data yang akan diuji dengan anova searah. Pada contoh ini, menggunakan data konsentrasi NO₂ di area SUF 6 setiap bulan dengan faktor musim. Kemudian klik **Data > Data analysis > pilih Anova: Single factor > Ok**



2. Check **Input range** > centang **column** pada **grouped by** > tentukan **Alpha** 0,05 > centang **output range** (input pada cell yang digunakan untuk mengeluarkan hasil analisa) > **Ok**

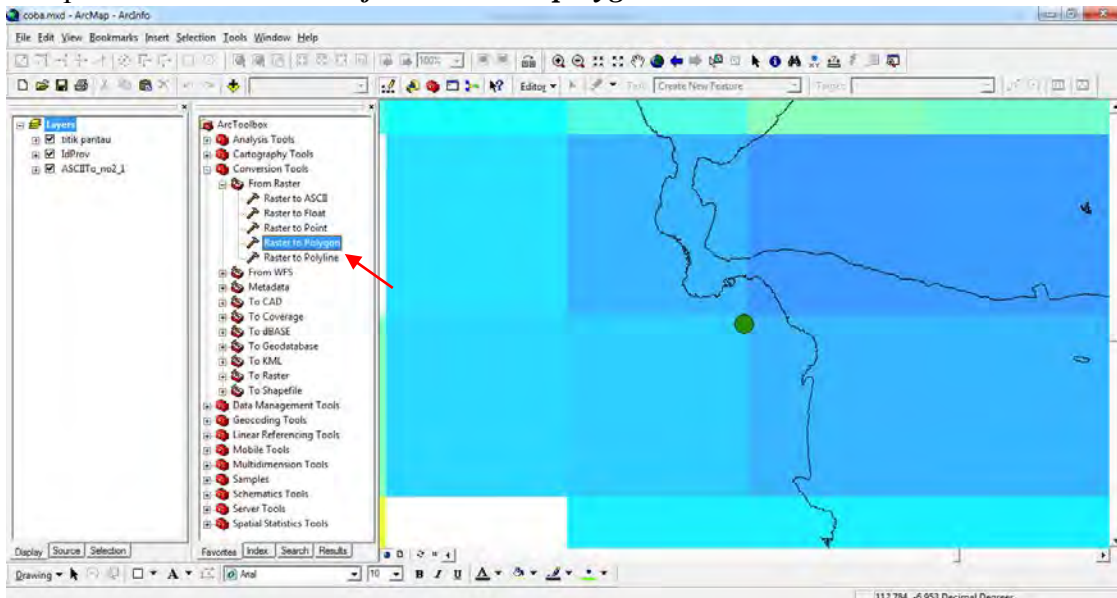


3. Kemudian hasil analisis akan muncul pada kolom yang ditentukan

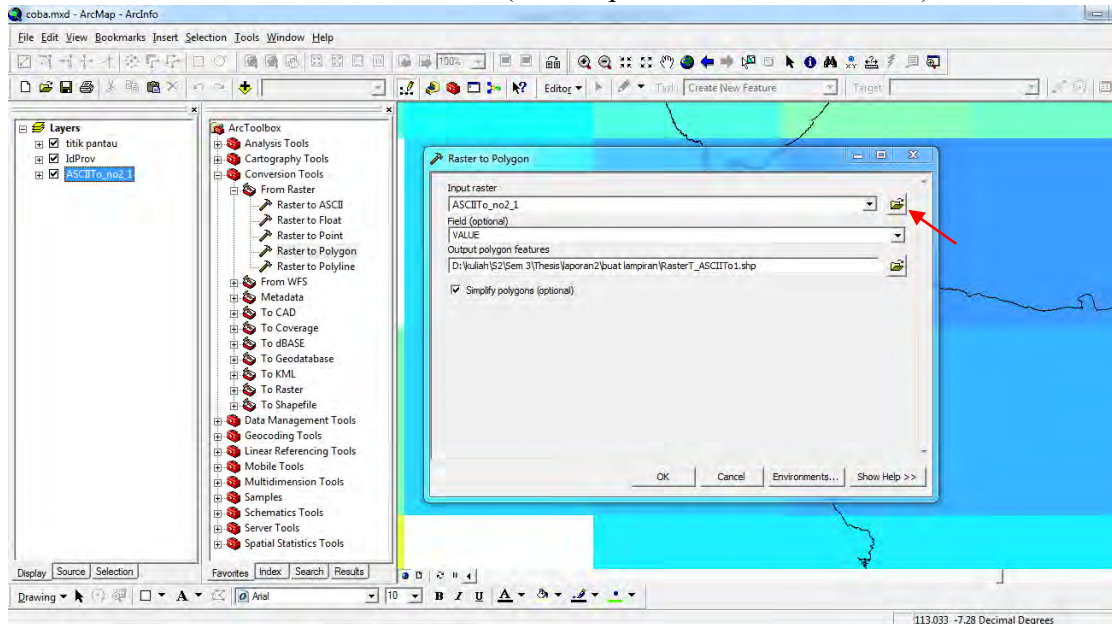


H. Digitasi menggunakan Google Earth Pro

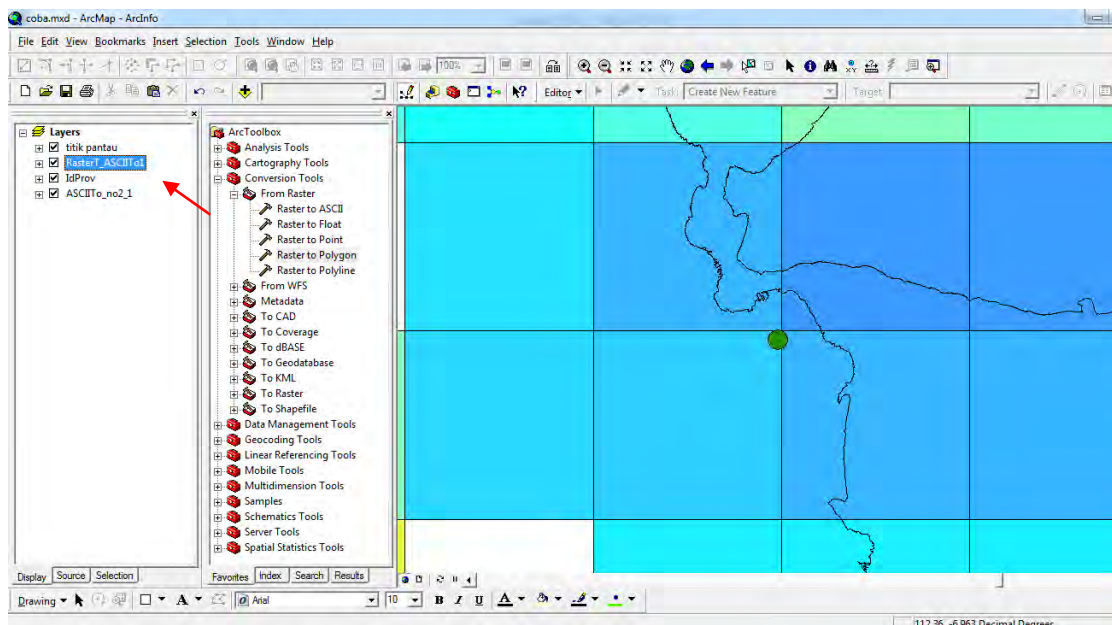
1. Sebelum melakukan digitasi, ditentukan area pixel dengan membuat polygon pada aplikasi *ArcGIS* dengan data satelit GOME 2 MetOP A. Pada menu *arc toolbox*, pilih *conversion tool > from raster to polygon*



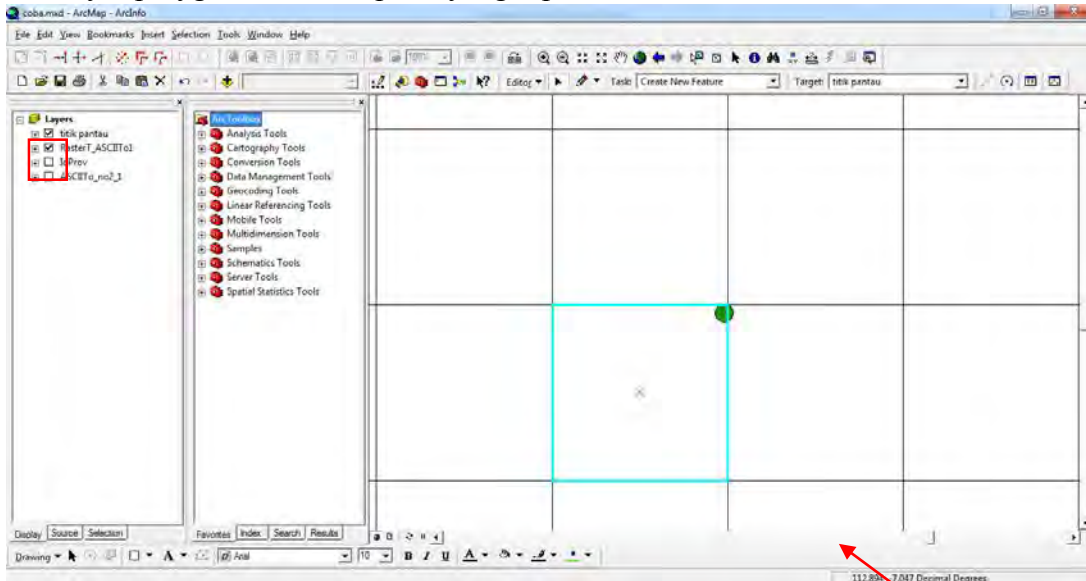
2. Masukkan data satelit dari KNMI (contoh pada bulan Januari 2012)



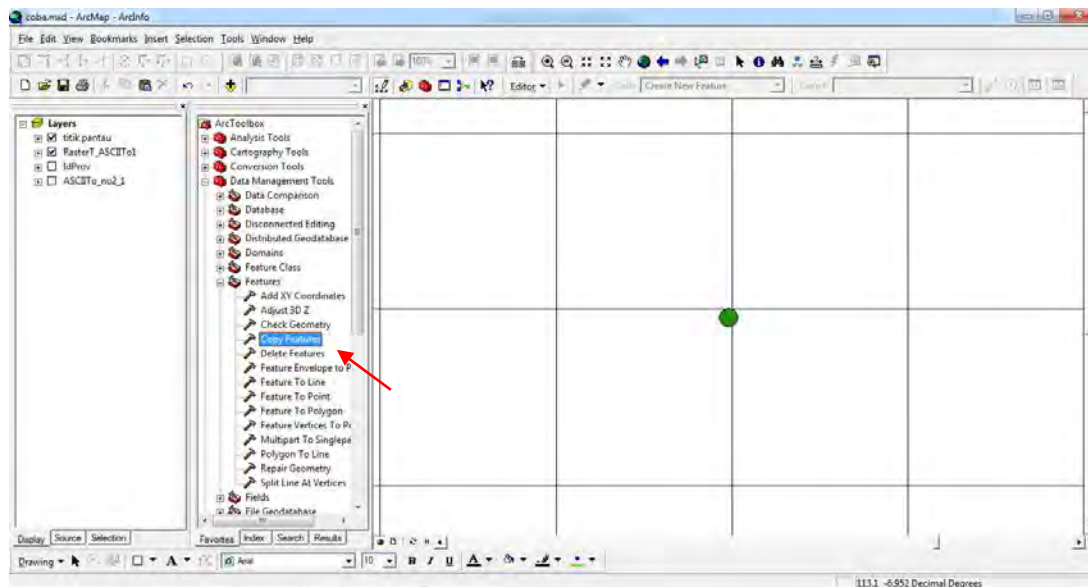
3. Klik **Ok**



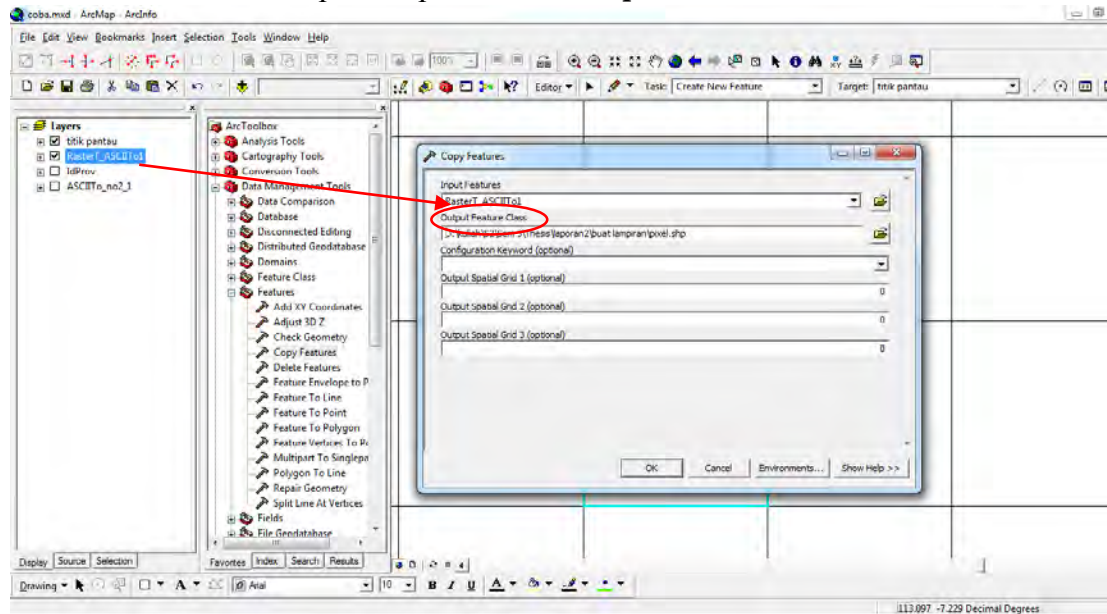
4. Tentukan grid polygon hanya pada pixel yang terdapat titik pantau dengan hanya mencentang *layer data polygon* dan *layer titik pantau*. Kemudian *start editor* pada layer polygon. Dan klik pixel yang dipilih.



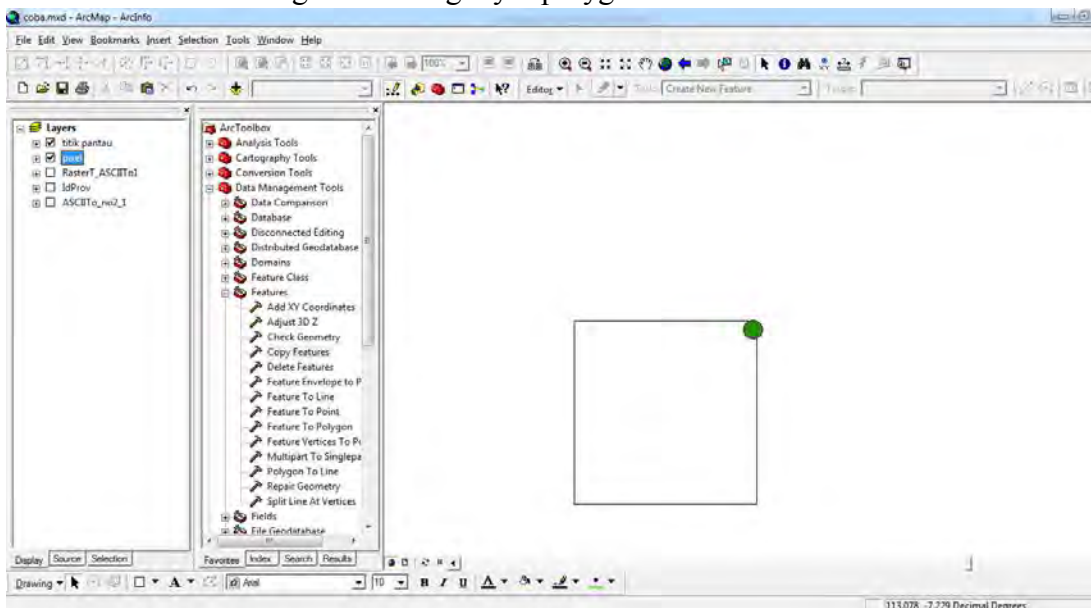
5. Kemudian pada *Arc Toolbox* > pilih *Data Management Tool* > *Feature* > *Copy Feature*



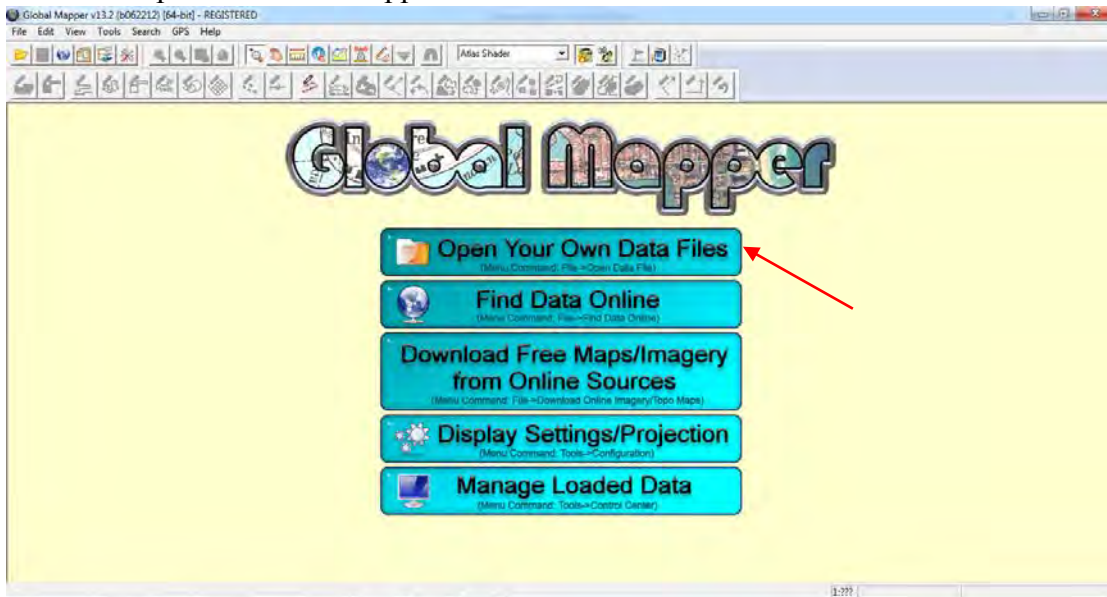
6. Input layer polygon pada kolom **Input Features** dengan cara drag layer pada kolom tersebut. Rename output file pada kolom **Output Feature Class**.



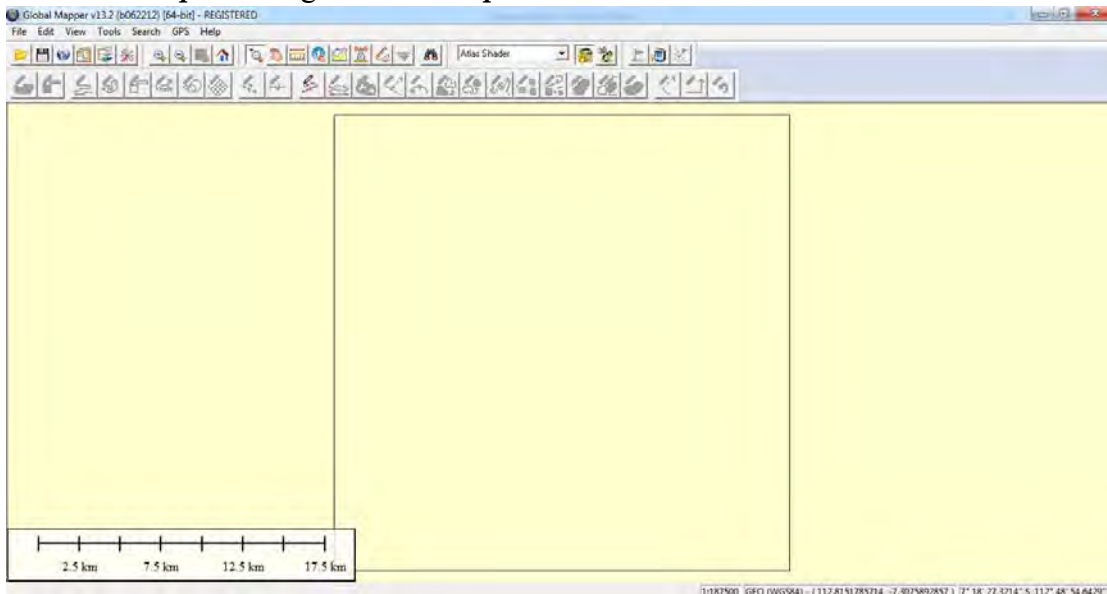
7. Klik **Ok** dan hilangkan centang layer polygon



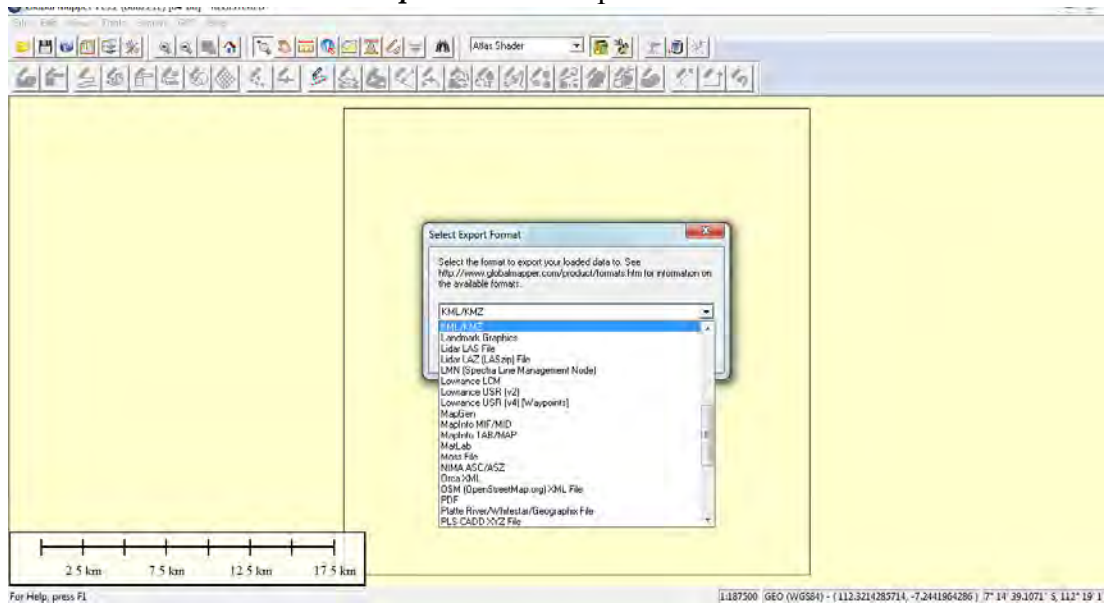
8. Konversi file pixel (*.shp*) kedalam *.kml* menggunakan aplikasi *Global Mapper* agar dapat terbaca oleh google earth pro. Klik *Open your own data files* pada home aplikasi Global mapper.



9. Pilih file *pixel* dengan format *.shp*

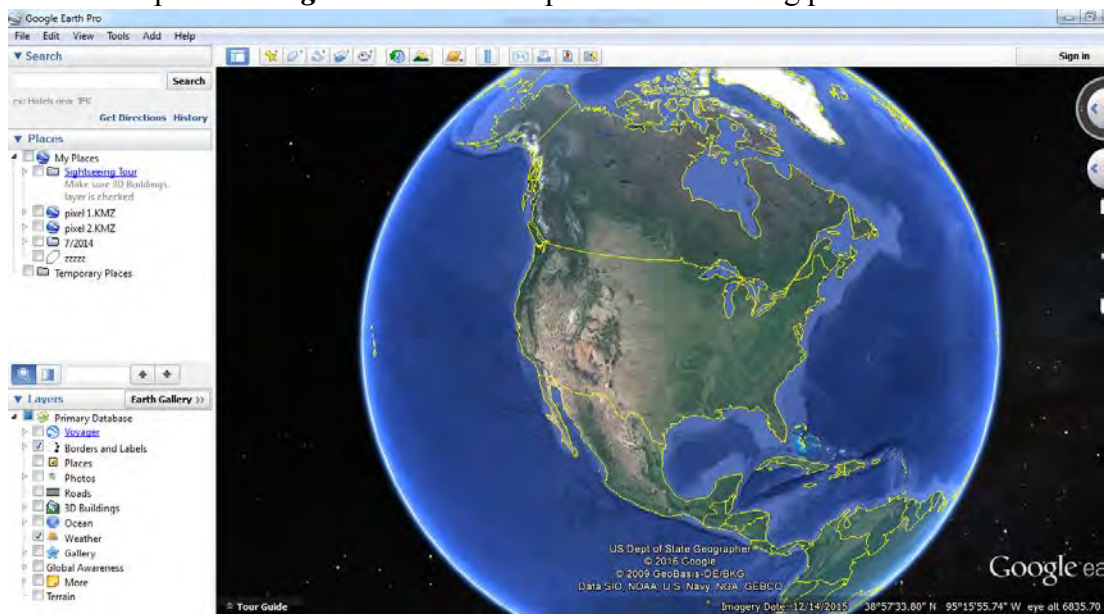


10. Pilih **File** > klik **Select Export Format** > pilih **KML/KMZ**

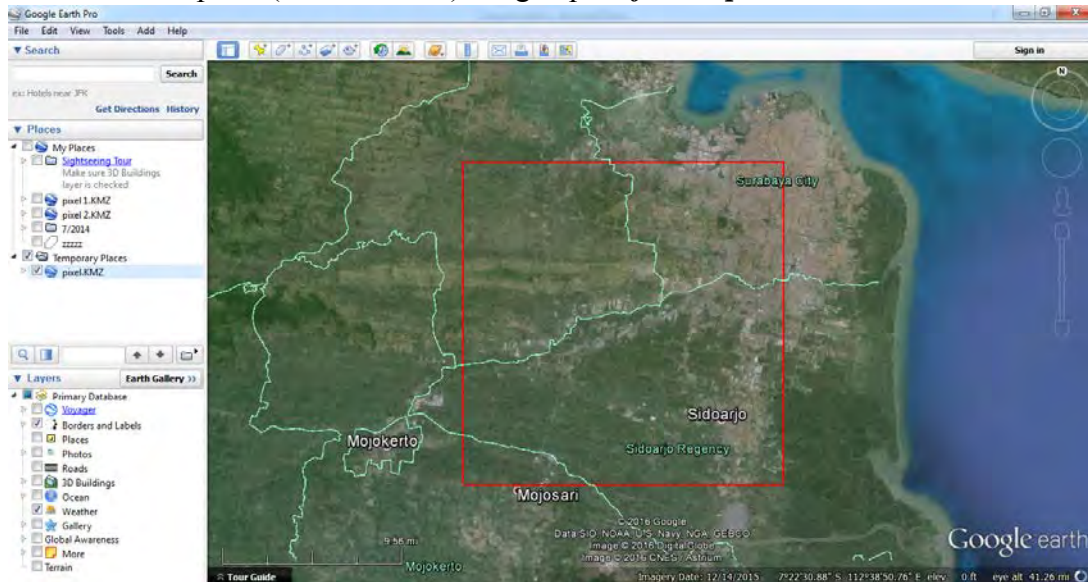


11. Close global mapper

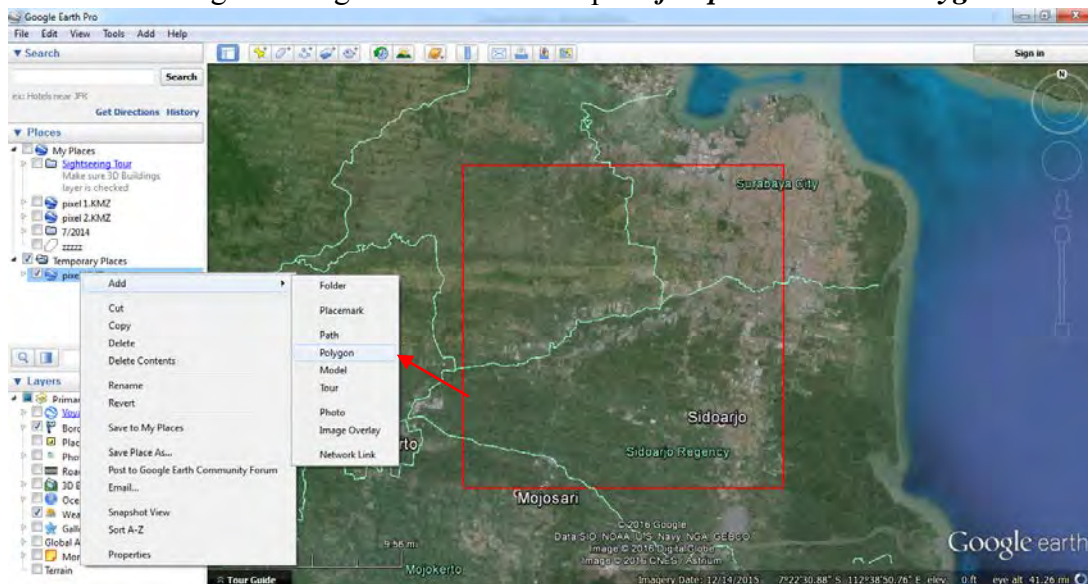
12. Buka aplikasi **Google Earth Pro** dan pastikan connecting pada internet.



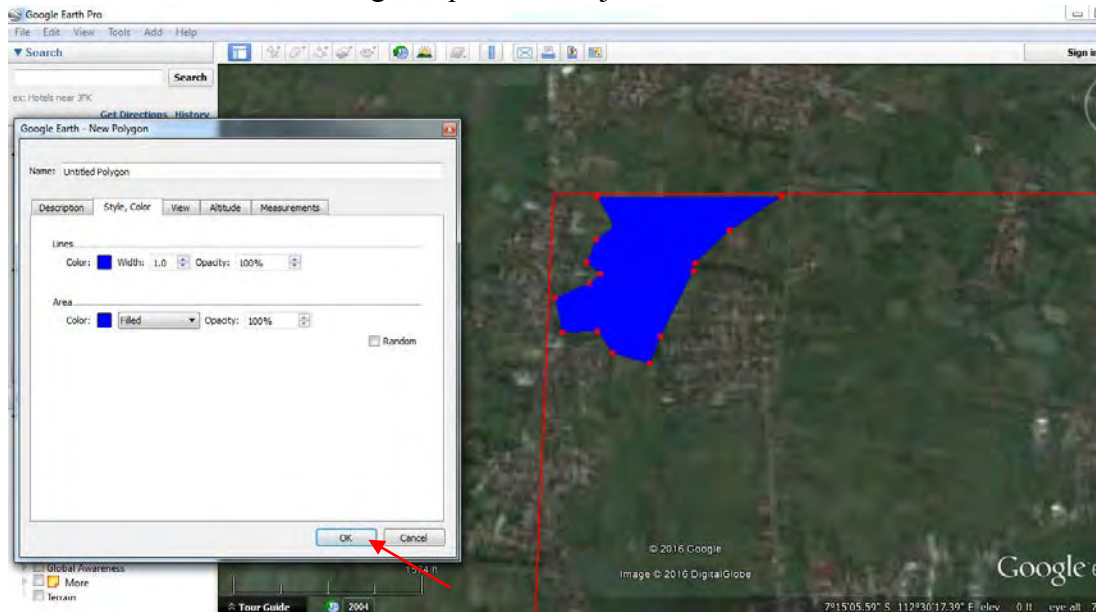
13. Insert file pixel (format **.KML**) dengan pilih **file > open**



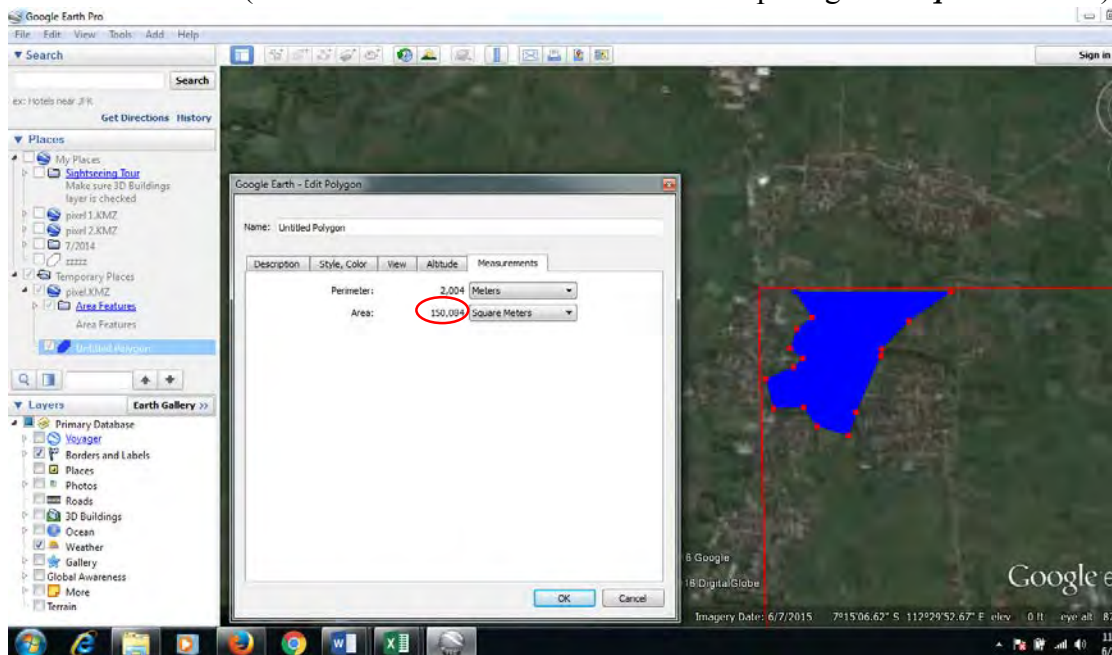
14. Lakukan digitasi dengan cara klik kanan pada **file pixel > Add > Polygon**



15. Zoom in dan lakukan digitasi pada area hijau kemudian klik *ok*



16. Untuk mengetahui luasan area yang telah didigit, klik kanan pada layer hasil digitasi > *properties* > pilih kolom *measurements* > pada kolom *area*, tentukan satuan luasan (dalam contoh ini memilih satuan meter persegi atau *square meters*)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1 Dari data satelit (total kolom NO₂) maupun data titik pantau (konsentrasi NO₂), didapatkan nilai determinasi *R square* (R²) sebesar 0,3323 dengan persamaan regresi $y = 4.10^{-5}x + 0.0004$. Nilai R² tersebut menjelaskan tingkat keakurasian yang cukup lemah yakni sebesar 33,23%, Hal ini dikarenakan pengukuran menggunakan citra satelit dilakukan dalam skala global, yakni $\pm 40 \times 40 \text{ km}^2$. Sedangkan dalam area 1 pixel pengukuran, hanya diambil beberapa titik SPKU.
- 2 Dari analisa pengaruh perubahan musim di Indonesia terhadap konsentrasi NO₂ dari tahun 2012 hingga 2015, hanya terdapat 4 titik stasiun pantau (dari 11 titik SPKU) dengan pola konsentrasi NO₂ ambien yang berpengaruh terhadap perubahan musim di Indonesia. Rata-rata konsentrasi NO₂ terbesar terdapat pada musim kemarau.
- 3 Dari analisa pengaruh perubahan musim di Indonesia terhadap nilai total kolom NO₂ dari tahun 2012 hingga 2015, semua data nilai total kolom NO₂ dari citra satelit tidak memiliki pengaruh terhadap perubahan musim di Indonesia.
- 4 Hubungan luas RTH terhadap nilai total kolom NO₂ menunjukkan pola yang menurun. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh antara perubahan fungsi lahan terbuka hijau (RTH) terhadap peningkatan nitrogen dioksida (NO₂) di lapisan troposfer.

5.2 Saran

1. Disarankan dalam penelitian selanjutnya, perlu memperhatikan faktor-faktor terkait dispersi NO₂ diantaranya Radiasi Cahaya Matahari, suhu dan stabilitas

atmosfer, distribusi angin, kelembaban udara serta dipengaruhi oleh gejala cuaca seperti presipitasi.

2. Disarankan dalam penelitian selanjutnya untuk menggunakan teori permodelan dispersi polutan NO₂ seperti model gaussian, model box dan model numeric.
3. Disarankan dalam penelitian selanjutnya (dengan topik yang sama) melakukan pengukuran konsentrasi NO₂ secara merata dalam area pixel satelit GOME 2 MetOP-A.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberta Environment., 2007. **Assessment Report on Nitrogen Dioxide for Developing Ambient Air Quality Objectives.**
- Arya, S.P. 1999. **Air Pollution Meteorology and Dispersion.** Oxford University. New York.
- Asriani, D., 2009. **Analisis Kesiapan.** Fakultas Ekonomi. Universitas Indonesia
- Barman, S.C., Kumar, N., Kisku, G.C., Khan, A. H., Kidwai, M.M., Murthy, R. C., Negi, M. P. S., Pandey, P., Verma, A. K., Jain, G., dan Bhargava, S. K., 2010. **Assessment of Urban Air Pollution and It's Probable Health Impact.** Journal of Environtmental Biology, 31, 913-920.
- Beijk, R., Wesseling, J., Mooijbroek, D. et al., 2010. **Monitoringsrapportage NSL: Stand van zaken Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit.** Bilthoven, the Netherlands: RIVM.
- Beirle, S., Boersma, K. F., Platt, U., Lawrence, M. G., and T., W. (2011). **Megacity emissions and lifetimes of nitrogen oxides probed from space.** Science, 333:1737–1739.
- Botkin, D.B. dan Keller E.A. 2005. **Environmental Science: Earth as a Living Planet.** John Wiley & Sons. USA.
- Burrows, J.P., Weber, M., Buchwitz, M., Rozanov, V.V., Ladstatter-Weissenmayer, A., Richter, A., DeBeek, R., Hoogen, R., Brmstedt, K., Eichmann, K.U., 1999. **The global ozone monitoring experiment (GOME): mission concept and first scientific results.** Journal of Atmospheric Science 56, 151–175.
- Chaparro-Suarez, I. G., Meixner, F. X., and Kesselmeier, J., 2011. **Nitrogen dioxide (NO₂) uptake by vegetation controlled by atmospheric concentrations and plant stomatal aperture,** Atmos. Environ., 45, 5742–5750.
- Chipperfield, M.P., 1999. **Multiannual simulations with a threedimensional chemical transport model.** Journal of Geophysical Research 104, 1781–1806.
- Connel, D.W. 2005. **Basic Concepts of Environmental Chemistry, 2nd ed.** Taylor and Francis. USA. 253-275 pp

- Cunningham, W.P., & Cunningham, M.A., 2010. **Environmental science: A global concern**. (11 ed.). New York, NY: McGraw-Hill, 344-368.
- Departemen Kesehatan., 2008. **Parameter Pencemar Udara dan Dampaknya terhadap Kesehatan**. Jakarta
- Derwent, R., and Hertel, O., 1998. **Transformation of air pollutants**. In: *Urban Air Pollution: European Aspects* , ed. J. Fenger , O. Hertel and F. Palmster, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- European Space Agency (ESA)., 1995. **GOME global ozone measuring experiment users manual**. ESA SP-1182, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ISBN: 92-9092327-x.
- Fischer, P. H., Hoek, G., van Reeuwijk, H. D. J. B., Briggs, D. J., Lebre, E., Van Wijnen, J. H., & Elliott, P. E., 2000. **Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam**. *Atmospheric Environment*. 34(22), 3713-3722.
- Forsdyke. 1970. **Meteorological Factors in Air Pollution**. Technical note No. 114. WMO. Geneva. Switzerland. 3-5 pp.
- Gujarati dan Porter. 2009. **Dasar-dasar Ekonometrika**. Jakarta: Salemba Empat
- Handoko. 1993. **Klimatologi Dasar. Bab IV Suhu Udara**. Dalam Handoko, editor. Balai Pustaka. Jakarta. 37-50 pp.
- Hendrick, F., Mahieu, E., Bodeker, G., Boersma, K., Chipperfield, M., De Mazière, M., De Smedt, I., Demoulin, P., Fayt, C., Hermans, C., Kreher, K., Lejeune, B., Pinardi, G., Servais, C., Stübi, R., Van der A, R., Vernier, J.-P., and Van Roozendael, M. 2012. **Analysis of stratospheric NO₂ trends above Jungfraujoch using ground-based UV-visible, FTIR, and satellite nadir observations**. *Atmos. Chem. Phys.*, 12:8851–8864
- Hereid, D. P. and Monson, R. K., 2001. **Nitrogen oxide fluxes between corn (*Zea mays* L.) leaves and the atmosphere**, *Atmos. Environ.*, 35, 975–983.
- Hertel O., Reis S., Skjøth C.A., Bleeker A., *et al.*, 2011. **Nitrogen processes in the atmosphere**. Cambridge University Press. Chapter 9.
- Hill, M.K. 2006. **Understanding Environmental Pollution, 2nd ed**. Cambridge University Press. United Kingdom.

- Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., & Van den Brandt, P. A., 2002. **Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study.** *The Lancet*. 360-(9241):pp 1203–1209.
- Howitt, D. L., and Cramer, D. 2006. **Statistics with SPSS 13 - Translated into Greek.** Athens ISBN 960-209-905-4.
- Jacob, D. J. and Wofsy, S. C., 1990. **Budgets of Reactive Nitrogen, Hydrocarbons, and Ozone over the Amazon Forest during the Wet Season,** *J. Geophys. Res.*, 95, 16737–16754.
- Koelemeijer, R. B. A., Stammes, P., Hovenier, J. W., de Haan, J. F., 2001. **A fast method for retrieval of cloud parameters using oxygen A band measurements from the global ozone monitoring experiment.** *Journal of Geophysical Research* 106, 3475–3490.
- Kurniawan, D., 2008. **Regresi Linier (Linear Regression).** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
- Lalitaporn, P., Kurata, G., Matsuoka, Y., Thongbooncho, N., Surapipith, V., 2013. **Long-term analysis of NO₂, CO, and AOD seasonal variability using satellite observations over Asia and intercomparison with emission inventories and model.** *Air Qual Atmos Health* 6, 655–672. Doi:10.1007/s11869-013-0205-z.
- Lee, J., Son, J., & Cho, Y., 2007. **The adverse effects of fine particle air pollution on respiratory function in the elderly.** *Science of the Total Environment*, 385, 28–36.
- Levin, R. I., dan Rubin, D. S. 1998. **Statistics for Management.** 7th edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Liu dan Lipták. 2000. **Air Pollution.** Lewis Publisher. New York. 41–47 pp.
- Longley, P. A., M. F. Goodchild., *et al.*, 2001. **Geographic Information System and Science.** John Wiley & Sons. 27–58. New York.
- J. Callies., E. Corpaccioli., M. Eisinger., A. Hahne., & A. Lefebvre. 2000. **GOME-2 – Metop's Second-Generation Sensor for Operational Ozone Monitoring.**

- Metop Project, Earth Observation Projects Department, ESA Directorate of Application Programmes, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- J. Ma., Richter, A., P. B. John., N. Hendrik., Van. A. John., 2006. **Comparison of model-simulated tropospheric NO₂ over China with GOME-satellite data.** *Atmospheric Environment*, 40, 593–604.
- Jin, H. and Raman, S. 1995. **Dipersion of an Elevated Release in a Coastal Region.** *J. Appl. Meteor.* 35. 1611-1624 pp.
- Martin R. V., Parrish D. D., Ryerson T. B., *et al.*, 2004. **Evaluation of GOME satellite measurements of tropospheric NO₂ and HCHO using regional data from aircraft campaigns in the southeastern United States.** *J Geophys Res* 109(D24). doi: 10.1029/ 2004JD004869
- Munro, R., Eisinger, M., Anderson, C., Callies, J., Corpaccioli, E., Lang, R., Lefebvre, A., Livschitz, Y., and Albinana, A. P., 2006. **GOME-2 on MetOp.** Proc. of The 2006 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Helsinki, Finland, 2006
- Nevers, N.D., 2000. **Air Pollution Control Engineering 2nd Edition.** McGraw-Hill Internasional. Singapore.
- Oke, T.R. 1987. **Boundary Layer Climates.** Routhledge. London.
- Pandis, S. N. (2006). **Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change (2nd Edition).** John Wiley & Sons.
- Prueksakorn, K., Kim, T., Kim, S., Kim, H., Kim, K. Y., Son, W., dan Vongmahadlek. 2012. **Review of Air Dispersion Modelling Approaches to Assess The Risk of Wind-borne Spread of Foot-and-mouth Disease Virus.** *Journal of Environmental Protection*, 3, 1260-1267
- Ramanathan, V., & Feng, Y., 2009. **Air pollution, greenhouse gases and climate change: global and regional perspectives.** *Atmospheric Environment*, 43, 37-50.
- Ross, Z. English P. B., Scale, R, Gunier, R Smorodinsky, S.W. & Jerret M., 2006. **Nitrogen dioxide prediction in Southern California using land use regression modeling: potential for environmental health analyses.** *Journal of Exposure Science and environmental Epidemiology*. 16. pp. 106-114.

- Rozanov, V., Diebel, D., Spurr, R.J.D., Burrows, J.P., 1997. **GOMETRAN: a radiative transfer model for the satellite project GOME—the plane parallel version**. Journal of Geophysical Research 102, 683 – 695.
- Richter, A., Burrows, J.P., Nuß, H., Granier, C., Niemeier, U., 2005. **Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space**. Nature 437, 129–132.
- Sari, N. K., Harsa, H., and Boedisantoso, R. 2015. **Penentuan Korelasi Curah Hujan, Ketinggian Lapisan Inversi dan Hubungan dengan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya**. Jurnal Teknik ITS Vol. 4, No. 1, (2015) ISSN: 2337-3539
- Schaub, D., Brunner, D., Boersma, K. F., Keller, J., Folini, D., Buchmann, B., Berresheim, H., and Staehelin, J. (2007). **SCIAMACHY tropospheric NO₂ over Switzerland: estimates of NO_x lifetimes and impact of the complex Alpine topography on the retrieval**. Atmos. Chem. Phys., 7:5971–5987
- Seinfeld, J.H., 1986. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**. Wiley. The University of Michigan.
- Seinfeld, J.H. dan Pandis, S.N. 2006. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 2nd ed**. John Wiley & Sons. USA.
- Sharan, M., Yadav, A. K., Singh, M. P., Agarwal, P., dan Nigam, S. 1995. **A Mathematical Model for The Dispersion of Air Pollutants in Low Wind Conditions**. Center for Atmospheric Sciences. Indian Institute Technology. New Delhi. India.
- Solomon, S., 1999. **Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history**. Rev.Geophys., 37(3):275–316
- Srivastava, A., 2004. **Air Pollution Modelling and Forecasting in Hamilton Using Data – Driven Methods**. Thesis. Department of Civil Engineering. McMaster University. Hamilton. Canada.
- Stan, Aronoff., 1989. **Geographics Information System : A Management Perspective**. Ontario: WDL Publication.
- Stern, A. C. (Ed.), 1973. **Fundamentals of air pollution**. Elsevier

- Sumaryati. 2007. **Penetapan Beban Emisi Maksimum CO di Kawasan Industri Dayeuh Kolot**. [Tesis]. Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Supriyadi, E., 2009. **Penerapan Model *Finite Length Line Source* untuk Menduga Konsentrasi Polutan Dari Sumber Garis (Studi Kasus: JL. M.H. Thamrin, DKI Jakarta)**. Department Geofisika dan Meteorologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor.
- WHO, 2014. **Burden of disease from household air pollution in 2012**. World Health Organization, Geneva, Switzerland. Retrieved from: <http://www.who.int/phe/healthtopics/outdoorair/databases/FINALHAPAAPBoD24March2014.pdf>.
- Visconti, G. 2001. **Fundamentals of Physics and Chemistry of the Atmosphere**. Springer-Verlag. Germany.
- Yoneyama, T., Ito, O., and Engelaar, W. M. H. G., 2003. **Uptake, metabolism and distribution of nitrogen in crop plants traced by enriched and natural ^{15}N** . Progress over the last 30 years, *Phytochem. Rev.*, 2, 121–132.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Surabaya pada 8 April 1990, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Pertiwi, SDN Magersari 1, SMPN 2 Mojokerto dan SMAN 1 Puri Mojokerto. Pada tahun 2009 penulis menempuh pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 3309100054. Selama masa perkuliahan di program S1, penulis aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan antara lain Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) ITS. Pada tahun 2014 penulis menempuh pendidikan S2 di Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS dan terdaftar dengan NRP 3314201018. Penulis berharap dapat berkontribusi langsung dalam bidang sosial dan mampu memberikan yang terbaik bagi keluarga, masyarakat, bangsa, dan negara. Segala bentuk komunikasi terkait dengan Tesis ini dapat disampaikan melalui *email* penulis di arkaromadona@gmail.com.